



TUGAS AKHIR – MO 091336

**ANALISA KINERJA *FLOATING CRANE VESSEL* SAAT PROSES
PENGANGKATAN DALAM OPERASI *JACKET PALTFORM REMOVAL***

INTAN SUKMA BELLA PRATIWI

NRP. 4312 100 098

Dosen Pembimbing:

Ir. Murdjito, MSc .Eng

Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph. D

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Tekonolgi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2017



FINAL PROJECT – MO 091336

**PERFORMANCE ANALYSIS OF FLOATING CRANE VESSEL DURING
JACKET PLATFORM REMOVAL OPERATION**

INTAN SUKMA BELLA PRATIWI

NRP. 4312 100 098

Supervisors :

Ir. Murdjito, MSc .Eng

Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph. D

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2017

**ANALISA KINERJA *FLOATING CRANE VESSEL* SAAT PROSES
PENGANGKATAN DALAM OPERASI *JACKET PALTFORM REMOVAL***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknik Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

INTAN SUKMA BELLA PRATIWI

NRP : 4312 100 0098

Disetujui Oleh :

1. Ir. Mardjito, M.Sc. Eng (Pembimbing 1)

2. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D (Pembimbing 2)

3. Dr. Eng Rudi Wulandari, S.T., M.T (Penguji 1)

4. Ir. Joswan Jusuf Soedjono, M.Sc. (Penguji 2)

5. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D (Penguji 3)

6. Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T (Penguji 4)

Surabaya, Januari 2017

PERFORMANCE ANALYSIS OF FLOATING CRANE VESSEL DURING JACKET PLATFORM REMOVAL OPERATION

Name : Intan Sukma Bella Pratiwi
NRP : 4312 100 098
Department : Ocean Engineering
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Supervisors : Ir. Murdjito, MSc .Eng
Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc. Ph. D

ABSTRACT

This final project study on process lifting jacket removal in two conditions, in air and splash zone, and with size variation intact and cutting into two parts. Jacket platform 326,21 tons shelfweight. lifted by floating crane displacement 78489 operated at Parigi Field, East Java Sea. Crane vessel is working safely when response fulfill operational limitation criteria. Sling tension must be fulfill Safety factor(SF) criteria > 4 . Lifting condition of the structure in air obtained sling tension of each size variation structure has fulfill criteria operability with $SF > 4$. The result of lifting process in splash zone conditions that maximum motion in all heading variation structure # 1 (the condition of the structure intact) has the largest motion results. The result explain that maximum motion, sway motion currently heading 90° has 1.09 m, heave motion heading 45° has 1.25 m, roll motion heading 45° has $2,99^\circ$, pitch motion heading 0° has $0,998^\circ$. Tension value of hoisting wire in splash zone condition when significant wave 3 m, obtained all heading and structure variations has fulfill criteria of operability with $SF > 4$.

Keyword; Floating Crane Vessel, Tension Sling, Motion

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarokatuh.

Alhamdulillah puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar. Judul yang diambil pada Tugas Akhir ini adalah **“Analisa Kinerja *Floating Crane Vessel* saat Proses Pengangkatan dalam Operasi *Jacket Paltform Removal*”**.

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tujuan akhir dalam pengerjaan Tugas Akhir ini yaitu untuk mengetahui respon yang diterima oleh Floating Crane selama proses Lifting dan Tension Sling yang diakibatkan oleh pengangkatan struktur.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu masukan dalam bentuk saran dan kritik dari semua pihak yang bersifat membangun sangat penulis harapkan sebagai penyempurnaan untuk penulisan selanjutnya. Penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi perkembangan dalam bidang Teknik Kelautan, bagi pembaca umumnya dan penulis pada khususnya.

Wassalamualaikum warahmatullahi wabarokatuh.

Surabaya, Januari 2017

Intan Sukma Bella Pratiwi

UCAPAN TERIMA KASIH

Banyak pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam pengerjakan Tugas Akhir ini baik itu secara moral maupun material sehingga Tugas Akhir ini dapat dikerjakan dan diselesaikan dengan lancar. Pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu tercinta yang telah membesarkan dan mendidik penulis, dan Kakak tercinta terima kasih atas kasih sayang yang diberikan selama ini.
2. Bapak Murdjito dan Prof Eko, kedua pembimbing penulis yang telah sabar membimbing hingga laporan ini selesai, terimakasih atas ilmu dan waktunya.
3. Bapak Suntoyo yang telah menjadi dosen wali penulis selama lebih dari 4 tahun ini, terima kasih atas bimbingan, nasehat serta kesabarannya.
4. Bapak Rudi dan Bapak Yoyok selaku Kajur dan Sekjur Teknik Kelautan, semua Bapak dan Ibu dosen serta staf khususnya Pak Juni, Pak Joko dan Bu Lismi maupun karyawan Jurusan Teknik Kelautan lainnya, terimakasih atas bantuannya selama ini.
5. Dyah dan Mbak Puput sahabat penulis, terimakasih banyak telah banyak memberi motivasi dan semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Mas Rifta, Mas Danu, Mas Yuni dan Mas Ramzi yang telah banyak membantu penulis dalam pemodelan dan memberikan saran-saran dalam Tugas Akhir ini.
7. Keluarga Besar Laboraturium Opres, Ojan, Enggar, Abe dan Mas Hamzah terima kasih telah banyak membantu dan memberikan saran-saran kepada penulis dalam tugas akhir ini.
8. Adik-adik junior, terima kasih atas bantuannya selama ini.
9. Semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Terima kasih atas semua bantuannya, semoga Allah SWT memberikan balasan yang terbaik untuk semuanya.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat	3
1.5. Batasan Masalah	4
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	6
2.1. Tinjauan Pustaka	6
2.2. Dasar Teori	9
2.2.1. <i>Offshore Floating Crane</i>	9
2.2.2. Gelombang Reguler	10
2.2.3. <i>Couple Dynamic Motion</i>	10
2.2.4. Spektrum gelombang	13
2.2.5. <i>Response Amplitude Operator</i>	15
2.2.6. <i>Lifting Dynamic Load Factor</i>	15

2.2.7. Pergeseran <i>Centre of Gravity</i> (COG)	16
2.2.8. Pengangkatan (<i>Lifting</i>) Pada <i>Splash Zone</i>	17
2.2.9. Berat Statis	17
2.2.10. Gaya Hidrodinamis	18
2.2.11. Gaya Inersia.....	18
2.2.12. Gaya Apung.....	19
2.2.13. Gaya Drag	19
2.2.14. Teori Difraksi 3 Dimensi.....	20
2.2.15. <i>Free Body Diagram</i>	21
2.2.16. Kriteria Operabilitas	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1. Metode Penelitian.....	23
3.2. Prosedur Penelitian.....	25
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	29
4.1. Skenario Pengangkatan	29
4.2. Pemodelan Kapal AEGIR	30
4.3. Karakteristik Gerakan Kapal Pada Gelombang Reguler	32
4.3.1. Karakteristik Gerakan Moda Vertikal	33
4.3.2. Karakteristik Gerakan Moda Horizontal	36
4.4. Pemodelan <i>Jacket</i> L-COM	40
4.5. Sistem <i>Rigging</i>	41
4.6. <i>Sensitivity Centre of Gravitation</i> (COG <i>Shifting</i>)	42
4.7. Pemodelan Pada <i>Software</i> Orcalnex	47
4.8. Respon Gerakan Kapal Akibat Gelombang Acak.....	48
4.9. Pengaruh <i>Bouyancy</i> Pada Saat Struktur Berada di Daerah <i>Splash Zone</i> Terhadap Gerak Kapal dan Objek.	71
4.10. Perhitungan <i>Tension Sling</i> di Udara (<i>In Air</i>).....	74
4.11. Perhitungan <i>Tension Sling</i> di <i>Splash Zone</i>	80
4.12. Perhitungan Operabilitas	85
BAB V PENUTUP	91
5.1 Kesimpulan.....	91

5.2	Saran	92
	DAFTAR PUSTAKA.....	93
	LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Amplitudo dan Tinggi Gelombang Spektrum.....	13
Tabel 2.2 <i>Dynamic Amplification Factors</i> (API RP 2A WSD)	15
Tabel 2.3 <i>Dynamic Amplification Factors</i> (DNV Pt2)	16
Tabel 2.4 Kriteria Batas untuk Mengevaluasi Operabilitas	22
Tabel 3.1 Data Karakteristik Aegir	26
Tabel 3.2 Data Gelombang	27
Tabel 3.3 Data Arus	28
Tabel 4.1 Validasi Data Vessel dengan Hasil Pemodelan <i>Software</i> Maxsurf dan Moses	32
Tabel 4.2 RAO Tertinggi Gerakan Kapal	39
Tabel 4.3 Data Konfigurasi <i>Rigging</i>	42
Tabel 4.4 Aplikasi Gaya Pada Tiap Titik <i>Lift</i>	44
Tabel 4.5 COG & COG <i>Shift</i> Kondisi <i>Jacket</i> Utuh	44
Tabel 4.6 COG & COG <i>Shift</i> Kondisi <i>Jacket</i> Potongan Atas	44
Tabel 4.7 COG & COG <i>Shift</i> Kondisi <i>Jacket</i> Potongan Bawah	45
Tabel 4.8 <i>Mean Motion</i> dan RMS Gerakan <i>Sway Heading</i> 0°	49
Tabel 4.9 <i>Mean Motion</i> dan RMS Gerakan <i>Heave Heading</i> 0°	51
Tabel 4.10 <i>Mean Motion</i> dan RMS Gerakan <i>Roll Heading</i> 0°	52
Tabel 4.11 <i>Mean Motion</i> dan RMS Gerakan <i>Pitch Heading</i> 0°	53
Tabel 4.12 <i>Mean Motion</i> dan RMS Gerakan <i>Sway Heading</i> 45°	54
Tabel 4.13 <i>Mean Motion</i> dan RMS Gerakan <i>Heave Heading</i> 45°	56
Tabel 4.14 <i>Mean Motion</i> dan RMS Gerakan <i>Roll Heading</i> 45°	57
Tabel 4.15 <i>Mean Motion</i> dan RMS Gerakan <i>Pitch Heading</i> 45°	58
Tabel 4.16 <i>Mean Motion</i> dan RMS Gerakan <i>Sway Heading</i> 90°	59
Tabel 4.17 <i>Mean Motion</i> dan RMS Gerakan <i>Heave Heading</i> 90°	60
Tabel 4.18 <i>Mean Motion</i> dan RMS Gerakan <i>Roll Heading</i> 90°	61
Tabel 4.19 <i>Mean Motion</i> dan RMS Gerakan <i>Pitch Heading</i> 90°	62
Tabel 4.20 <i>Mean Motion</i> dan RMS Gerakan <i>Sway Heading</i> 135°	63

Tabel 4.21 <i>Mean Motion</i> dan RMS Gerakan <i>Heave Heading</i> 135°.....	64
Tabel 4.22 <i>Mean Motion</i> dan RMS Gerakan <i>Roll Heading</i> 135°.....	65
Tabel 4.23 <i>Mean Motion</i> dan RMS Gerakan <i>Pitch Heading</i> 135°.....	66
Tabel 4.24 <i>Mean Motion</i> dan RMS Gerakan <i>Sway Heading</i> 180°.....	67
Tabel 4.25 <i>Mean Motion</i> dan RMS Gerakan <i>Heave Heading</i> 180°.....	68
Tabel 4.26 <i>Mean Motion</i> dan RMS Gerakan <i>Roll Heading</i> 180°.....	69
Tabel 4.27 <i>Mean Motion</i> dan RMS Gerakan <i>Pitch Heading</i> 180°.....	71
Tabel 4.28 <i>Dynamic amplification Factors</i> (API RP 2A WSD).....	74
Tabel 4.29 <i>Dynamic amplification Factors</i> (DNV Pt2).....	75
Tabel 4.30 Variasi Ukuran Struktur <i>Jacket</i> yang Diangkat	75
Tabel 4.31 Data Karakteristik <i>Sling</i>	76
Tabel 4.32 <i>Tension Sling Initial COG & COG Shift Kondisi Jacket Utuh</i>	77
Tabel 4.33 <i>Tension Sling Initial COG & COG Shift Kondisi Jacket</i> Potongan Atas.....	78
Tabel 4.34 <i>Tension Sling Initial COG & COG Shift Kondisi Jacket</i> Potongan Bawah.....	79
Tabel 4.35 Harga Signifikan <i>Tension</i> dan Nilai <i>Safety Factors</i> tiap Kondisi Pembebanan <i>Heading</i> 0°.....	80
Tabel 4.36 Harga Signifikan <i>Tension</i> dan Nilai <i>Safety Factors</i> tiap Kondisi Pembebanan <i>Heading</i> 45°.....	81
Tabel 4.37 Harga Signifikan <i>Tension</i> dan Nilai <i>Safety Factors</i> tiap Kondisi Pembebanan <i>Heading</i> 90°.....	82
Tabel 4.38 Harga Signifikan <i>Tension</i> dan Nilai <i>Safety Factors</i> tiap Kondisi Pembebanan <i>Heading</i> 135°.....	83
Tabel 4.39 Harga Signifikan <i>Tension</i> dan Nilai <i>Safety Factors</i> tiap Kondisi Pembebanan <i>Heading</i> 180°.....	84
Tabel 4.40 Hasil <i>Running Ulang Lifting Jacket</i> Kondisi Utuh H = 3 m, <i>Heading</i> 45°, 90°, 135°, 180°	85
Tabel 4.41 Kriteria Operabilitas Kapal Gerakan <i>Sway</i>	86
Tabel 4.42 Kriteria Operabilitas Kapal Gerakan <i>Heave</i>	87
Tabel 4.43 Kriteria Operabilitas Kapal Gerakan <i>Roll</i>	88

Tabel 4.44 Kriteria Operabilitas Kapal Gerakan <i>Pitch</i>	89
Tabel 4.45 Kriteria Operabilitas <i>Tension Sling</i> Pada tiap Variasi Kondisi Pengangkatan.....	90

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Proses <i>Lifting Jacket</i> (Shuttleworth, 2015).....	2
Gambar 2.1 Bagian – Bagian <i>Jacket Platform (North West Decommissioning Programme February 2005)</i>	6
Gambar 2.2 Proses <i>Decommissioning</i> cara <i>Piece Small Jacket Removal (North West Decom Programme February 2005)</i>	8
Gambar 2.3 <i>Floating Crane Vessel AEGIR</i> (sumber : https://hmc.heerema.com/feet/aegir/)	10
Gambar 2.4 Klasifikasi Kondisi Hidrodinamis pada Bangunan Laut (Faltinsen, 1990)	10
Gambar 2.5 Moda Gerak <i>Crane Vessel</i> dengan Objek yang Diangkat (DNV RP H103, 2011)	11
Gambar 2.6 <i>Anvellope Load COG Jacket Structure</i>	16
Gambar 2.7 Diagram Gaya yang Bekerja pada Sistem	21
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (berlanjut)	23
Gambar 3.2 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (lanjut)	24
Gambar 3.3 <i>General Arrangement</i> Kapal AEGIR (HMC Report, 2013).....	26
Gambar 3.4 <i>L-Com Platform 3D Model</i> (L-COM Report, 2013)	27
Gambar 4.1 Simulasi Pengangkatan <i>Jacket Platform L-COM</i> , (a) Kondisi <i>Splashzone</i> , (b) Kondisi <i>Out Of Water</i>	29
Gambar 4.2 Variasi Kondisi Beban Objek yang Diangkat, (a) Kondisi Utuh dan (b) Kondisi Seperdua Beban	29
Gambar 4.3 Arah Pembebanan Gelombang	30
Gambar 4.4 Hasil Pemodelan Kapal AEGIR Dalam <i>Software Maxsurf</i>	30
Gambar 4.5 Pemodelan Kapal AEGIR Dengan <i>Software Moses</i>	31
Gambar 4.6 RAO Gerakan <i>Heave</i> pada Kondisi <i>Free Floating</i>	33
Gambar 4.7 RAO Gerakan <i>Pitch</i> pada Kondisi <i>Free Floating</i>	34
Gambar 4.8 RAO Gerakan <i>Roll</i> pada Kondisi <i>Free Floating</i>	35

Gambar 4.9	RAO Gerakan <i>Surge</i> pada Kondisi <i>Free Floating</i>	36
Gambar 4.10	RAO Gerakan <i>Sway</i> pada Kondisi <i>Free Floating</i>	37
Gambar 4.11	RAO Gerakan <i>Yaw</i> pada Kondisi <i>Free Floating</i>	38
Gambar 4.12	Pemodelan <i>Jacket Structure</i> pada <i>Software SACS</i> Struktur Utuh	40
Gambar 4.13	Pemodelan <i>Jacket Structure</i> pada <i>Software SACS</i> Struktur Potongan Atas.....	40
Gambar 4.14	Pemodelan <i>Jacket Structure</i> pada <i>Software SACS</i> Struktur Potongan Bawah.....	41
Gambar 4.15	<i>Anvellope Load COG Jacket Structure</i>	43
Gambar 4.16	Pemodelan <i>Initial COG</i> dan <i>COG Shift Jacket Structure</i> dan <i>Sling</i> pada <i>Software SACS</i> Potongan Atas.....	45
Gambar 4.17	Pemodelan <i>Initial COG</i> dan <i>COG Shift Jacket Structure</i> dan <i>Sling</i> pada <i>Software SACS</i> Kondisi Struktur Utuh	46
Gambar 4.18	Pemodelan <i>Initial COG</i> dan <i>COG Shift Jacket Structure</i> dan <i>Sling</i> pada <i>Software SACS</i> Potongan Bawah.....	46
Gambar 4.19	Pemodelan <i>Jacket Structure</i> dan <i>Sling</i> pada <i>Software</i> <i>Orcaflex</i>	47
Gambar 4.20	Letak Konfigurasi Tali <i>Sling</i> pada <i>Software Orcaflex</i>	47
Gambar 4.21	Kondisi Pengangkatan Struktur <i>Jacket</i> oleh <i>Floating Crane</i> dengan <i>Software Orcaflex</i>	48
Gambar 4.22	Rekaman Gerakan <i>Sway</i> Akibat Gelombang Acak <i>Heading 0°</i>	49
Gambar 4.23	Rekaman Gerakan <i>Heave</i> Akibat Gelombang Acak <i>Heading 0°</i>	50
Gambar 4.24	Rekaman Gerakan <i>Roll</i> Akibat Gelombang Acak <i>Heading 0°</i>	51
Gambar 4.25	Rekaman Gerakan <i>Pitch</i> Akibat Gelombang Acak <i>Heading 0°</i>	53
Gambar 4.26	Rekaman Gerakan <i>Sway</i> Akibat Gelombang Acak <i>Heading 45°</i>	54

Gambar 4.27	Rekaman Gerakan <i>Heave</i> Akibat Gelombang Acak	
	<i>Heading 45°</i>	55
Gambar 4.28	Rekaman Gerakan <i>Roll</i> Akibat Gelombang Acak	
	<i>Heading 45°</i>	56
Gambar 4.29	Rekaman Gerakan <i>Pitch</i> Akibat Gelombang Acak	
	<i>Heading 45°</i>	57
Gambar 4.30	Rekaman Gerakan <i>Sway</i> Akibat Gelombang Acak	
	<i>Heading 90°</i>	58
Gambar 4.31	Rekaman Gerakan <i>Heave</i> Akibat Gelombang Acak	
	<i>Heading 90°</i>	59
Gambar 4.32	Rekaman Gerakan <i>Roll</i> Akibat Gelombang Acak	
	<i>Heading 90°</i>	60
Gambar 4.33	Rekaman Gerakan <i>Pitch</i> Akibat Gelombang Acak	
	<i>Heading 90°</i>	61
Gambar 4.34	Rekaman Gerakan <i>Sway</i> Akibat Gelombang Acak	
	<i>Heading 135°</i>	62
Gambar 4.35	Rekaman Gerakan <i>Heave</i> Akibat Gelombang Acak	
	<i>Heading 135°</i>	63
Gambar 4.36	Rekaman Gerakan <i>Roll</i> Akibat Gelombang Acak	
	<i>Heading 135°</i>	64
Gambar 4.37	Rekaman Gerakan <i>Pitch</i> Akibat Gelombang Acak	
	<i>Heading 135°</i>	65
Gambar 4.38	Rekaman Gerakan <i>Sway</i> Akibat Gelombang Acak	
	<i>Heading 180°</i>	66
Gambar 4.39	Rekaman Gerakan <i>Heave</i> Akibat Gelombang Acak	
	<i>Heading 180°</i>	68
Gambar 4.40	Rekaman Gerakan <i>Roll</i> Akibat Gelombang Acak	
	<i>Heading 180°</i>	69
Gambar 4.41	Rekaman Gerakan <i>Pitch</i> Akibat Gelombang Acak	
	<i>Heading 180°</i>	70

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	INPUT PEMODELAN MOSES
LAMPIRAN B	OUTPUT RESPONSE AMPLITUDE OPERATOR

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Seiring dengan turunnya harga minyak yang berdampak negatif terhadap berbagai sektor *oil and gas industry*, dilain pihak aktifitas *decommissioning* semakin meningkat dikarenakan dengan semakin maraknya *removal uncomertial platform* maupun *wells abandonment* yang kemudian struktur dipindahkan ke ladang yang dianggap lebih menguntungkan atau mungkin dibawa kedaratan.

Saat ini terdapat lebih dari 6000 instalasi lepas pantai di seluruh dunia yang dioperasikan di berbagai negara dan organisasi internasional, pada awal tahun 1980-an semakin memberikan perhatian terhadap masalah-masalah baik yang bersifat teknis maupun yuridis yang berkaitan dengan instalasi dan bangunan di laut (Nauke, 1992). Salah satu masalah yang perlu diperhatikan adalah masalah pembongkaran dan pemindahan instalasi lepas pantai ketika *platform* ditinggalkan karena tidak digunakan lagi. Jika masalah seperti ini dibiarkan saja, maka akan dapat menimbulkan gangguan terhadap aktivitas navigasi, penangkapan ikan dan perlindungan lingkungan laut (Peters dkk, 1984). Selain itu *oil company* akan berusaha untuk melakukan efektifitas pengeluaran dan memastikan perusahaan tetap memperhatikan keselamatan dan keamanan lingkungan. Diperkirakan sekitar 140 ladang minyak di Inggris akan di non-aktifkan dalam kurun waktu 5 tahun yang akan datang (<http://Offshoreenergytoday.com>).

Decommissioning merupakan aktifitas yang berkaitan dengan proses pengangkutan *platform* maupun sebagian peralatan dari *operational state* dalam reklamasi *oil and gas production* yang meliputi proses *removal* dan *disposal*. Proses ini biasanya menggunakan bantuan *floating crane* atau *crane* yang berada diatas *floating structure* seperti *barge* maupun kapal atau biasa disebut sebagai *heavy lift structure*. Keamanan *floating crane* selama proses operasi merupakan hal yang paling riskan dalam proses *removal platform*. Biasanya berat dan ukuran dari struktur yang diangkat, akan mempengaruhi kinerja dari *floating crane*. (Seung dkk, 2015)

Selain keamanan *floating crane*, hal yang perlu diperhatikan dalam proses pengangkatan struktur adalah stabilitas struktur yang diangkat. Stabilitas saat pengangkatan struktur dipengaruhi oleh kestabilan *vessel* akibat pengaruh gaya gelombang yang mengenainya (Coric, 2014). Pergerakan dari *vessel* akan menyebabkan perpindahan letak titik berat dari struktur yang diangkat. Proses perpindahan titik berat struktur tidak boleh melebihi batas yang telah ditentukan. Hal ini dikarenakan, perpindahan titik berat yang terlalu signifikan akan menyebabkan ketidakstabilan pergerakan struktur yang diangkat, sehingga dapat menyebabkan kegagalan pada saat proses *lifting* berlangsung.



Gambar 1.1 Proses *Lifting Jacket* (Shuttleworth, 2015)

Analisa pengangkatan objek tersebut dikenal sebagai *Lifting Analysis*. Beban dinamis yang mengenai objek akan diteruskan ke sistem *rigging* sehingga mempengaruhi respon dari *vessel* dan besarnya tension pada *wire sling*. Selain itu Oleh karena itu perlu adanya kajian yang membahas tentang keamanan proses *lifting* dari *floating crane vessel* guna mengetahui kriteria batas kondisi lingkungan untuk memastikan keamanan *vessel* saat operasi dilakukan (Arifta, 2014).

Tugas akhir ini membahas mengenai “Analisa Kinerja Operasi *Floating Crane Vessel* dalam Proses *Lifting* untuk Operasi *Removal Jacket Platform*”. Evaluasi

operabilitas difokuskan saat proses pengangkatan *Jacket Platform*, yang dibagi menjadi 2 variasi yaitu: variasi #1 pengangkatan *Jacket Platform* dalam kondisi struktur utuh dan variasi #2 pemindahan *Jacket Platform* dalam kondisi struktur telah dipotong menjadi 2 bagian (dua kali pengangkatan). Lokasi operasi instalasi yang dikaji pada penelitian berada di Parigi, Laut Jawa.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang dibahas dalam tugas akhir tentang pemanfaatan energi gelombang dan arus laut untuk turbin pembangkit listrik dengan sistem *integrated concentric stroke* ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana respon gerakan *Floating Crane* saat proses pengangkatan *Jacket Platform*?
2. Bagaimana pergeseran titik COG pada setiap perubahan dimensi dan titik berat serta pengaruhnya terhadap tegangan tali?
3. Berapa besarnya operabilitas *Floating Crane Vessel* saat proses *lifting* untuk berbagai ukuran *structure*?

1.3 Tujuan Penelitian

Dari perumusan masalah diatas, tujuan yang ingin dicapai dalam pengerjaan Tugas Akhir ini antara lain:

1. Mengetahui respon gerakan *Floating Crane* saat proses pengangkatan *Jacket Platform*.
2. Mengetahui pergeseran titik COG pada setiap perubahan dimensi dan titik berat serta pengaruhnya terhadap tegangan tali.
3. Mendapatkan besarnya operabilitas *Floating Crane Vessel* saat proses *lifting* untuk berbagai ukuran *structure*.

1.4 Manfaat

Memberikan evaluasi operabilitas dan rekomendasi bagi operator *floating crane vessel* saat dioperasikan agar operasi pengangkatan *Removal Jacket Platform* dapat berjalan dengan aman.

1.5 Batasan Masalah

Untuk memudahkan perhitungan, maka masalah akan dibatasi dengan beberapa hal sebagai berikut :

1. Daerah operasi dilakukan di Laut Jawa. Sehingga data gelombang yang digunakan berdasarkan data di perairan Jawa.
2. Operasi *Removal* memiliki 2 variasi yaitu *Jacket Platform* utuh (variasi #1) dan *Jacket Platform* dipotong menjadi 2 bagian (variasi #2).
3. *Floating Crane Vessel* yang digunakan Kapal AEGIR dengan *Displacement* 78.500 ton pada sarat 10,5 m (sarat operasi).
4. *Jacket Platform* yang digunakan adalah L-COM *Platform* dengan *Displacement* 326,31 ton pada kedalaman 33,18 m
5. Beban lingkungan yang diperhitungkan adalah beban gelombang dan arus dengan variasi tinggi gelombang signifikan (Berdasarkan gelombang Laut Jawa)
6. Tidak dilakukan kajian terhadap stabilitas dan *ballasting* dari Kapal.
7. *Crane* diasumsikan tertambat diatas, tidak dilakukan pemodelan terhadap *mooring system*.
8. Pengaruh gelombang yang dikaji dalam operasi adalah dari arah 0° , 45° , 135° , 90° dan 180° .
9. Gerakan kapal yang dibahas hanya untuk moda gerak *heave*, *roll*, *pitch* dan *sway*.
10. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software* MOSES Bentley dan Orcaflex.
11. Pemodelan struktur yang diangkat tidak dilakukan secara utuh, hanya berupa modul dengan variasi berat dan titik berat.
12. Dilakukan analisa mengenai pergeseran titik berat saat kondisi, *in air* dan *spalsh zone* dari setiap variasi yang digunakan.
13. *Trim* tidak dihitung karena perbandingan beban yang diangkat dengan *displacement* kapal sangat kecil, *trim* yang dihasilkan bernilai kecil sehingga diabaikan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pendahuluan

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang tugas akhir yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan tugas akhir ini, manfaat yang diperoleh dan ruang lingkup penelitian guna membatasi analisis yang akan dilakukan dalam tugas akhir ini;

2. Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis berpedoman pada penelitian, jurnal serta buku – buku yang membahas tentang operabilitas *Floating Crane Vessel*, proses *Lifting* dan sumber lain yang mendukung dalam proses penelitian ini.

3. Metodologi Penelitian

Pada bab ini menjelaskan tentang metode pengerjaan dalam tugas akhir yang akan dilakukan beserta prosedur yang digunakan;

4. Analisis Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini akan dilakukan analisis mengenai hasil pemodelan *Floating Crane Vessel* dan *Jacket Structure* dengan berbagai ukuran ,dan simulasi untuk setiap variasi kasus. Analisis tersebut bertujuan untuk menjawab permasalahan yang telah dirumuskan yaitu mengetahui respon *Floating Crane Vessel* saat kondisi *free floating*, *tension sling* saat proses pengangkatan kondisi *in air* pada setiap perubahan titik beratnya. Dan respon *Floating Crane Vessel* saat proses pengangkatan ketika struktur berada di daerah *splash zone* serta *tension sling* yang diakibatkan oleh tiap arah pembebanannya. Terakhir untuk mengetahui oprabilitas dari *Floating Crane Vessel* keseluruhan saat proses pengangkatan struktur.

5. Kesimpulan Dan Saran

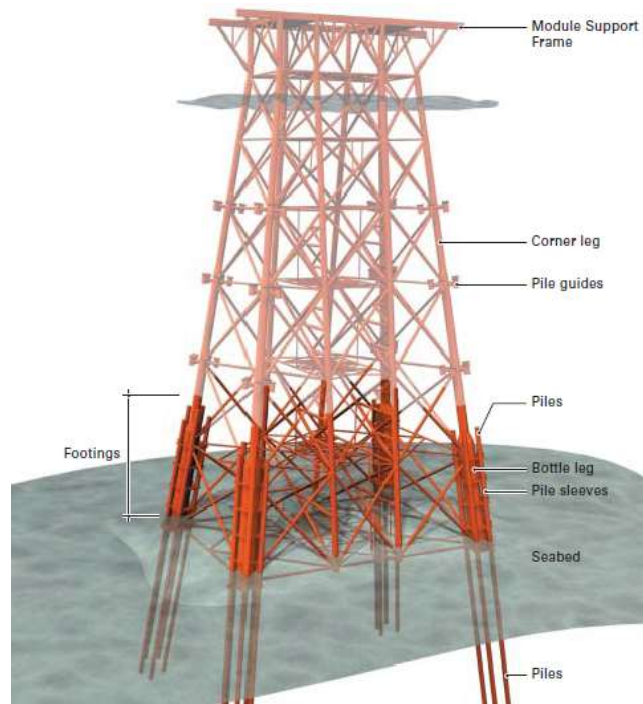
Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari hasil dan pembahasan yang diperoleh dari hasil analisa respon gerakan, harga *tension*, serta besarnya operabilitas *Floating Crane Vessel* serta saran dan keberlanjutan penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Jacket Platform adalah sebuah struktur terpancang yang merupakan salah satu dari *offshore platform* yang diletakkan di dasar laut dan dengan kuat dihubungkan dengan *pile*. Lengan *jacket* dan *brace* menyalurkan bebannya menuju pile dan selanjutnya menuju ke *seabed* seperti dapat dilihat pada Gambar 2.1. *Jacket* ada yang memiliki tiga, empat, lima enam dan delapan kaki. Jacket yang memiliki tiga kaki biasa dikenal sebagai *tripod*. Dan juga terdapat *jacket* yang hanya memiliki satu kaki yang disebut sebagai *monopod* (Chakrabarti, 2005).



Gambar 2.1. Bagian-bagian *Jacket Platform*.

(*North West Hutton Decommissioning Programme February 2005*)

Dalam proses *removal platform*, setelah pemindahan bagian *topside*, proses selanjutnya adalah pengangkatan *jacket platform* atau biasa disebut *jacket cutting*. Dalam proses *removing large jacket*, perlu dilakukan pemotongan struktur *jacket* sampai bagian *footing (seabed)* menjadi beberapa bagian (*cutting into small piece*) sehingga memungkinkan dilakukan pengangkatan (*lifting*) dengan menggunakan *floating crane vessel*. (Schelte, 2013)

(Soegiono, 2004) menjelaskan jenis dari *decommissioning* dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. *Disposal* : merupakan proses persetujuan yang akan membawa *Module* menuju lokasi tujuan, yang akan digunakan kembali maupun ke tempat pembuangannya. *Disposal* dapat diletakkan pada area lain baik itu *offshore* maupun *onshore*.

Jenis- jenis *Disposal* :

- *Platform to Reef (PTR)*: bagian dari platform digunakan untuk *artificial* (karang tempat perlindungan ikan), atau keperluan penyelaman yang digunakan untuk memperbaiki ekosistem dan habitat di laut.
 - *Deep Ocean Disposal (DOD)*: instalasi yang di *decommission*-kan ditenggelamkan ke dasar laut.
2. *Removal* : aktifitas pembongkaran dan pemindahan *Module* dari tempat asalnya menuju tempat persetujuan yang telah disepakati sebelumnya (*Disposal*).

Jenis- jenis *Removal* :

- *Platform Complete Removal*: Seluruh bagian struktur dipindahkan dan bagian leg dan mudline juga bersihkan
- *Platform Partial Removal*: Bagian atas dari platform dipindahkan kedaerah yang aman dan semua bagian bawah platform tetap di tempat
- *Platform Toppling in Place*: instalasi di pindahkan dengan momotongnya dari bagian kaki dan *mudline*-nya setelah itu dijatuhkan didasar laut
- *Platform Leave in Place*: semua *Module* dan *equipment* telah dipindahkan dari *deck*, sehingga hanya tersisa strukturnya saja.

(Danish Field, 2013) Terdapat jenis *decommissioning platform jacket* sebagai berikut :

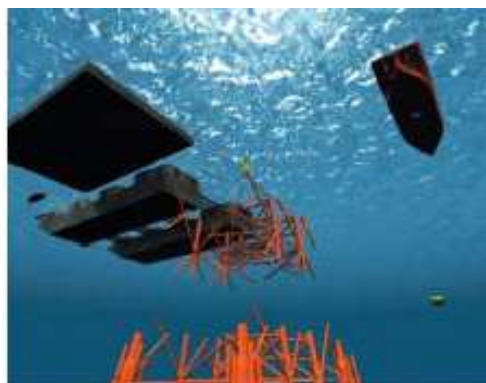
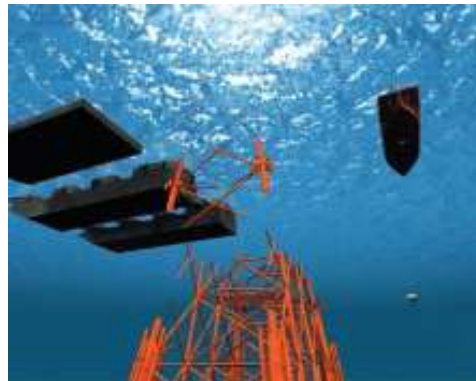
a. *Leave in place*.

- *Re-use in-situ*

- *Re-use in another location.*
- b. Remove and recycle.*
- c. Rigs to reef disposal.*
- d. Deep seas disposal.*
- e. Delay decommissioning awaiting novel new technology.*

Adapun cara yang memungkinkan untuk dilaksanakannya *removal methods* adalah sebagai berikut:

- *Installation reversal using heavy lift vessel (HLV)*
- *Jacket removal using novel technology.*
- *Piece small jacket removal.*
- *Direct lift of jacket.*
- *Shear-leg and grap.*
- *Further Development of the Versa-truss principle.*



Gambar 2.2. Proses *Decommissioning* cara *Piece Small Jacket Removal*. (North West Hutton Decommissioning Programme February 2005)

Menurut (Ju-Hwan Cha, 2010), kinerja operasi *floating crane vessel* dipengaruhi oleh gaya dinamik *vessel* terhadap lingkungan dan beban dari *Module* yang diangkat. Terjadinya kekenduran dari sling sedapat mungkin dihindari karena dapat mengakibatkan beban kejut yang mengakibatkan beban yang cukup besar pada *hoisting system* (Sarkar dan Gudmestad, 2010). Bagaimanapun juga, berat dan ukuran dari *module* dalam proyek *offshore* semakin bertambah sehingga tidaklah mudah bagi *engineers* dilapangan untuk merencanakan agar proses *lifting* dapat berjalan dengan aman, dan tidak ada alasan untuk dilakukan pembatalan (Seung, 2015). Sehingga guna mengamankan proses *lifting* dalam *removal module*, perlu dilakukan perhitungan stabilitas selama proses *lifting* yang ditinjau *in Air* (API RP 2 WSD, 2009) dan *trough wave zone*. (DNV-RP H-103, 2011).

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Offshore Floating Crane

Floating crane merupakan media yang digunakan untuk memindahkan muatan dari suatu tempat ke tempat yang lain, dalam proses konstruksi atau *maintenance* dalam *offshore installation* maupun proses *removal* dalam *decommissioning offshore module*. Beban yang diterima kapal (yang memuat *crane*) dapat dengan mudah dipengaruhi oleh gelombang, angin dan arus laut (Sun, 2015).

Operasi *lifting* menggunakan *Floating Crane* berdasarkan beban struktur/modul yang diangkat dapat digolongkan menjadi 2 yaitu: *Heavy Lift Operation* dan *Light Lift Operation* (Nielsen, 2007). Disebut *Heavy lift operation* jika berat benda yang diangkat lebih dari 1-2 % *displacement vessel* dan secara tipikal beratnya lebih dari 1000 Ton. Pada operasi ini harus dipertimbangkan pengaruh *coupled dynamic* antara *vessel* dan benda yang diangkat. Sedangkan disebut *light lift* jika berat benda yang diangkat sangat kecil dibandingkan *displacement* dari *vessel* (kurang dari 1-2 % *displacement vessel*), besarnya secara tipikal adalah beberapa ratus Ton. Pada kasus ini karakteristik gerakan *crane tip vessel* tidak dipengaruhi oleh gerakan benda yang diangkat.

Floating Crane Vessel yang digunakan untuk penelitian ini adalah *Floating Crane* milik Heereema AEGIR (Gambar 2.3) yang diresmikan pada tahun 2013. *Floating crane* ini biasa beroperasi untuk kedalaman laut *shallow water* dengan *operating draft* antara 9-11 m.

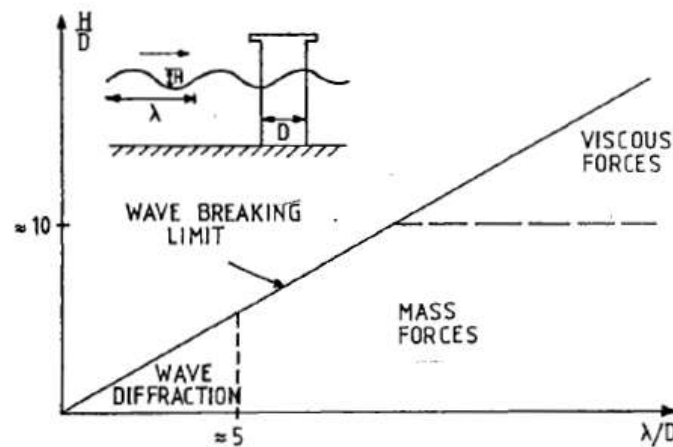


Gambar 2.3. *Floating Crane Vessel AEGIR*

(sumber : <https://hmc.heerema.com/fleet/aegir/>)

2.2.2 Gelombang Reguler

Dalam analisis hidrodinamis pada struktur bangunan laut terdapat beberapa klasifikasi kondisi hidrodinamis yang akan menentukan analisis yang akan digunakan. Gambar 2.4 dibawah ini menunjukkan klarifikasi kondisi hidrodinamis yang lazim dijumpai pada struktur bangunan laut.

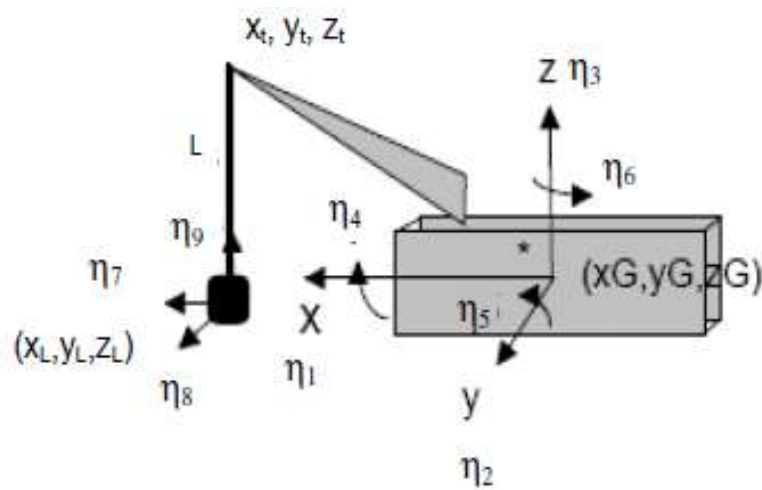


Gambar 2.4. Klasifikasi Kondisi Hidrodinamis pada Bangunan Laut (Faltinsen, 1990)

2.2.3 Couple Dynamic Motion

Gambar 2.2 berikut menunjukkan *crane vessel* sedang mengangkat beban yang sangat berat (*heavy lift*) dengan sistem kerekan (*hoisting system*) vertikal

terhadap ujung *crane*. Pada kasus ini terdapat 2 *body* yang dihubungkan dengan *wire*, sehingga terdapat 12 *Degree of Freedom* (DOF). Rotasi dari objek umumnya dapat dikontrol dengan *tugger line* yang diikatkan ke benda yang diangkat (objek) ke *crane vessel*. Pada simulasi numeris sistem kopel, *tugger line* tersebut harus dimodelkan sebagai *spring*. Analisa menggunakan metode *simplified* mengabaikan rotasi dari objek, mengingat terdapat *tugger line* yang mengontrol rotasi dari objek, sehingga membuat jumlah DOF berkurang dari 12 DOF menjadi 9 DOF.



Gambar 2.5. Moda Gerak *Crane Vessel* dengan Objek yang Diangkat
(DNV RP H103, 2011)

Moda gerak diatas disimbolkan sebagai η_i , $i = 1, 2, 3 \dots 9$ dimana $i = 1, 2, 3 \dots 6$ adalah moda gerak *crane vessel* dengan 3 gerakan translasi dan 3 gerakan rotasi secara berturut-turut adalah *surge*, *sway*, *heave* dan *roll*, *pitch*, *yaw*. Kemudian η_7 adalah gerakan translasi objek terhadap sumbu-x, η_8 adalah gerakan translasi objek terhadap sumbu-y, η_9 adalah gerakan translasi objek terhadap sumbu-z.

Persamaan gerak dari sistem diatas di formulasikan sebagai berikut:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{F} \quad (2.1)$$

Dengan:

M = Matriks massa dan inersia; C = Matriks kekakuan; F = Gaya eksitasi harmonik akibat gelombang. M merupakan matriks 9 x 9 dari massa dan inersia tanpa efek *couple* antara *crane vessel* dan objek:

$$M = \begin{pmatrix} M_v + A & 0 \\ 0 & m_o + a \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

M_v = 6 x 6 matriks massa dari *Body vessel* [kg]

A = 6 x 6 matriks massa tambah dari *vessel* [kg]

m_o = 3 x 3 matriks massa dari objek [kg]

a = 3 x 3 matriks massa tambah dari objek [kg]

(DNV RP C-205) Matriks masa M dan matriks *added mass* keduanya simetris. Masa dari *body vessel* saat kondisi *free floating* adalah $M = \rho V$, ρ adalah masa jenis air dan V adalah volume struktur yang tercelup air. Dimana matriks massa *body vessel* [M_{jk}] dapat digambarkan sebagai berikut :

$$M_{jk} = \begin{bmatrix} M & 0 & 0 & 0 & Mz_G & -My_G \\ 0 & M & 0 & -Mz_G & 0 & Mx_G \\ 0 & 0 & M & My_G & -Mx_G & 0 \\ 0 & -Mz_G & My_G & I_{11} & I_{12} & I_{13} \\ Mz_G & 0 & -Mx_G & I_{21} & I_{22} & I_{23} \\ -My_G & Mx_G & 0 & I_{31} & I_{32} & I_{33} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Dimana :

I_{ij} = *Moment Inersia*

(x_G, y_G, z_G) = *Centre of Gravity (CoG)*

C merupakan matriks kekakuan *couple system* 9 x 9 yang dikontribusi dari 3 komponen yaitu matriks kekakuan hidrostatik, matriks kekakuan *mooring*, dan matriks *couple* antara *vessel* dan objek, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$C_c = \begin{pmatrix} k_s & 0 & 0 & 0 & k_s z_t & -k_s y_t & -k_s & 0 & 0 \\ & k_s & 0 & -k_s z_t & 0 & k_s x_t & 0 & -k_s & 0 \\ & & k_e & k_e y_t & -k_e x_t & 0 & 0 & 0 & -k_e \\ & & & C_{e44} & -k_e x_t y_t & k_s z_t x_t & 0 & k_s z_t & k_e y_t \\ & & & & C_{e55} & -k_s z_t y_t & -k_s z_t & 0 & k_e x_t \\ & & & & & C_{e66} & k_s y_t & -k_s x_t & 0 \\ & & & & & & k_s & 0 & 0 \\ & & & & & & & k_s & 0 \\ & & & & & & & & k_e \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

$$k_s = w/L_s \text{ [N/m]}$$

$$k_e = AE/L_e \text{ [N/m]}$$

$$L_s = \text{Panjang } Hoisting \text{ wire dari ujung } crane \text{ ke pusat benda yang diangkat [m]}$$

$$L_e = \text{Panjang efektif hoisting wire [m]}$$

$$AE = \text{Kekakuan dari wire [N/m]}$$

$$w = \text{Berat benda tercelup [N]}$$

$$x_t = \text{posisi ujung } crane \text{ searah sumbu-x [m]}$$

$$y_t = \text{posisi ujung } crane \text{ searah sumbu-y [m]}$$

$$z_t = \text{posisi ujung } crane \text{ searah sumbu-z [m]}$$

F merupakan beban harmonis akibat gelombang, F dapat diformulasikan dalam bentuk kompleks sebagai berikut:

$$F = Re \{F_a e^{i\omega t}\} \quad (2.5)$$

$$F_a = \{F_1, \dots, F_6, 0, 0, 0\}^T \quad (2.6)$$

Fa = amplitudo eksitasi beban; ω adalah frekuensi *angular* gelombang dan Re menunjukkan ekspresi bagian Real dari bentuk kompleks. Kemudian respon gerakan dari sistem kopel *vessel* dan objek didapatkan dari:

$$\eta_i = (-\omega^2 M + i\omega B + C)^{-1} F \quad (2.7)$$

Dengan $\eta_i = \{\eta\}, i = 1, 2, 3, \dots \dots 9$

2.2.4 Spektrum Gelombang

Pemilihan spektrum energi gelombang didasarkan pada kondisi *real* dari perairan yang ditinjau. Bila tidak ada, maka dapat digunakan model spektrum yang dikeluarkan oleh berbagai institusi dengan mempertimbangkan kesamaan fisik lingkungan. Dari spektrum gelombang dapat diketahui parameter-parameter gelombang seperti Tabel 2.1:

Tabel 2.1. Amplitudo dan Tinggi Gelombang padaa Spektrum

Profil Gelombang	Amplitudo	Tinggi
Gelombang Rata-rata	$1,25\sqrt{m_0}$	$2,5\sqrt{m_0}$
Gelombang Signifikan	$2,00\sqrt{m_0}$	$4,00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/10 Gelombang Tertinggi	$2,55\sqrt{m_0}$	$5,00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/1000 Gelombang Tertinggi	$3,44\sqrt{m_0}$	$6,67\sqrt{m_0}$

dengan :

$$m_0 = \text{Luasan dibawah kurva spektrum (zero moment)} = \int_0^\infty S(\omega) d\omega \quad (2.8)$$

Spektrum gelombang, yang dapat dipakai dalam tugas akhir ini adalah spektrum JONSWAP. Persamaan spektrum JONSWAP merupakan modifikasi dari persamaan spektrum Pierson-Mosrkowitz yang disesuaikan dengan kondisi laut yang ada. Menurut DNV RP C205 (2010) Persamaan Spektrum JONSWAP menurut (Faltinsen, 1990) dapat ditulis sebagai berikut:

$$S_J(\omega) = A_\gamma S_{PM}(\omega) \gamma^{\exp\left(-0.5\left(\frac{\omega-\omega_p}{\sigma\omega_p}\right)^2\right)} \quad (2.9)$$

$$S_{PM}(\omega) = \frac{5}{16} H_s^2 \omega_p \omega^{-5} \exp\left(-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right) \quad (2.10)$$

dengan:

$S_J(\omega)$ = Spektrum Jonswap

$S_{PM}(\omega)$ = Spektrum Pierson-Moskowitz

$A_\gamma = 1 - 0.287 \ln(\gamma)$ merupakan faktor normalisasi

$\omega_p = 2\pi/T_p$ = frekuensi angular dari puncak spektra

T_p = Periode puncak spektra

H_s = tinggi gelombang signifikan

γ = parameter puncak non-dimensi

σ = parameter bentuk

untuk $\omega > \omega_p = 0,07$ dan $\omega > \omega_p = 0,09$

Harga parameter puncak (γ) rata-rata berdasarkan eksperimen $\gamma = 3.3$. Untuk $\gamma = 1$ Spektrum Jonswap menjadi sama dengan Spektrum Pierson Moskowitz. Jika tidak diketahui harga γ , menurut DNV RP C205 (2010) dapat digunakan persamaan berikut:

$$\gamma = 5, \text{ untuk } \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \leq 3.6 \quad (2.11)$$

$$\gamma = \exp\left(5.75 - 1.15 \frac{T_p}{\sqrt{H_s}}\right), \text{ untuk } 3.6 < \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} < 5 \quad (2.12)$$

$$\gamma = 1, \text{ untuk } 5 \leq \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \quad (2.13)$$

Menurut Djatmiko (2012) untuk perairan Indonesia umumnya menggunakan harga γ antara 2 sampai 2.5. Hal ini untuk mengurangi dominasi energi yang dikontribusikan oleh frekuensi tertentu saja.

2.2.5 Response Amplitudo Operator

Response Amplitudo Operator (RAO) atau disebut juga dengan *Transfer Function* merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang disebabkan akibat gelombang dengan rentang frekuensi tertentu. RAO merupakan alat untuk mentransfer

gaya gelombang menjadi respon struktur. Menurut Chakrabarti (1987), persamaan RAO secara matematis adalah sebagai berikut:

$$RAO(\omega) = \frac{X_P(\omega)}{\eta(\omega)} \quad (2.14)$$

Dengan :

$X_P(\omega)$ = amplitude respon struktur

$\eta(\omega)$ = amplitude gelombang

2.2.6 Lifting Dynamic Load Factors

Berdasarkan API RP 2A WSD 2009st sec. 2.4.2.a, pada saat proses lifting pada daerah offshore dengan menggunakan *Floating Crane Vessel* berlangsung terdapat beban statis dan dinamis dari luar yang mengenai struktur dan dari struktur itu sendiri. Dan beban dinamis yang berasal dari luar tersebut dapat di transformasikan menjadi beban statis dengan menggunakan *Dynamic Amplification Factors* (DAF) yang dikategorikan berdasar hubungan antara member pada struktur dengan titik angkatanya (*lift point*). Besar nilai DAF yang diberikan seperti pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2. *Dynamic Amplification Factor* (API RP 2A WSD)

Member	DAF
Terhubung dengan <i>lift point</i>	2.00
Tidak terhubung dengan <i>lift point</i>	1.35

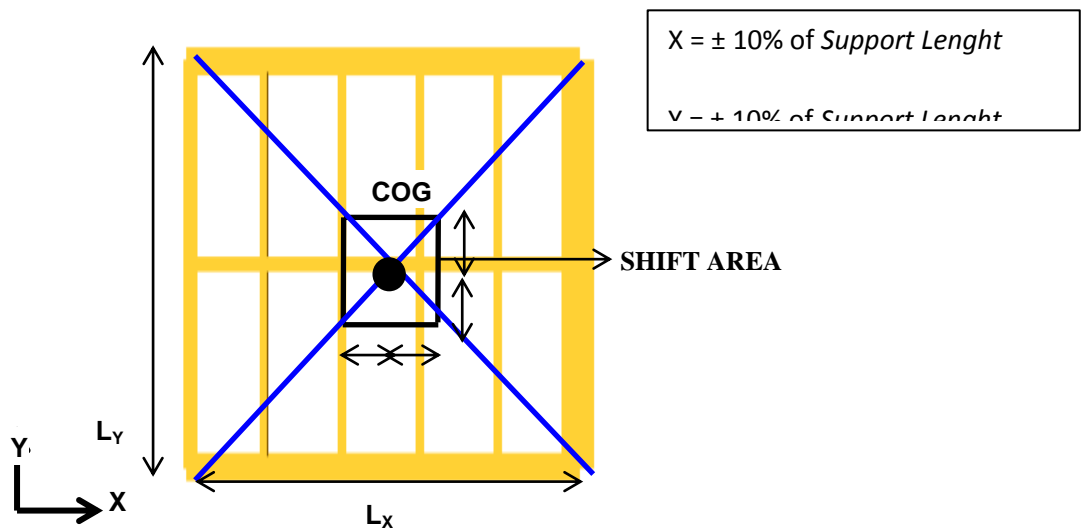
Sedangkan berdasarkan DNV Pt2 Ch5-Lifting (1996), beban lingkungan juga dapat dikategorikan sebagai beban dinamis dan dapat ditransformasikan menggunakan faktor beban pada beban statis dengan DAF seperti pada Tabel 2.3 :

Tabel 2.3. *Dynamic Amplification Factor* (DNV Pt2)

Static Hook Load (ton)	DAF <i>Onshore</i>	DAF <i>inshore</i>	DAF <i>Offshore</i>
50-100	1.10	1.15	1.30
100-1000	1.05	1.10	1.20
1000-2500	1.05	1.05	1.15
>2500	1.05	1.05	1.10

2.2.7 Pergeseran Centre Of Gravity (COG)

Pergeseran *Centre of Gravity* (COG) dari *initial* COG ke titik *shifting*-nya biasa disebut sebagai *sensitivity* COG / COG *shift* (DNV OS H-102). COG *shift* dapat diperhitungkan sebagai faktor beban statis, sehingga reaksi pada setiap titik dari pergeseran COG akan diperhitungkan sebagai faktor beban statis. *Anvellope* pergeserannya dihitung sekitar 3-6 kaki, atau sekitar 1-2 meter. Atau dapat juga perhitungkan sebagai COG *envelope* arah-x dan arah-y yaitu :



Gambar 2.6. Anvellope Load COG Jacket Structure

Sehingga gaya *Couple* yang dibutuhkan dalam perhitungan COG *shift* sebagai seperti persamaan 2.15 dan 2.16 :

$$F_{z(x)} = \frac{F_z \times d_x}{L_x} \quad (2.15)$$

$$F_{z(y)} = \frac{F_z \times d_y}{L_y} \quad (2.16)$$

Dimana :

$F_{z(x)}$ = Gaya yang dikenakan pada titik pergeseran arah- x

$F_{z(y)}$ = Gaya yang dikenakan pada titik pergeseran arah- y

F_z = Gaya *selfweight* struktur yang diangkat.

d_x = Jarak pergeseran arah-x

d_y = Jarak pergeseran arah-y

L_x = Jarak antar tik *Lift* arah-x

L_y = Jarak antar tik *Lift* arah-y

2.2.8 Pengangkatan (*Lifting*) Pada *Splash Zone*

Berdasarkan DNV RP H-103, objek yang diturunkan melewati ke permukaan air akan mendapat beberapa beban yang bervariasi. Tujuan *Simplified Method* ini adalah untuk menghitung beban karakteristik hidrodinamika pada objek yang diturunkan melalui permukaan air dan dilanjutkan ke dasar laut. Metode ini memiliki beberapa asumsi sebagai berikut:

- Panjang horizontal dari objek yang diturunkan (sesuai arah propagasi gelombang) dianggap kecil dibandingkan dengan panjang gelombang
- Gerakan vertikal dari objek mengikuti gerakan ujung *crane*.
- Kasus pembebanan yang didominasi oleh gerakan vertikal relatif antara objek dan air – dengan kata lain, moda lainnya dapat diabaikan.

2.2.9 Berat Statis

Berat statis dari benda yang tercelup air diberikan dalam persamaan 2.17:

$$F_{static} = Mg - \rho g V \quad (2.17)$$

dengan :

M = massa benda di udara (kg)

g = percepatan gravitasi = 9.81 (m/det²)

ρ = massa jenis air laut = 1025 (kg/m³)

V = volume benda tercelup pada tahapan tertentu saat melewati permukaan air (m³).

2.2.10 Gaya Hidrodinamis

Gaya karakteristik hidrodinamis dari benda yang diturunkan melewati permukaan air merupakan fungsi waktu, yang dipengaruhi oleh gaya inersia, gaya apung, gaya drag, dan gaya akibat *slamming*. Persamaan kombinasi beban diatas yang sesuai dengan metode sederhana ini adalah:

$$F_{hyd} = \sqrt{(F_D + F_{slam})^2 + (F_M + F_\rho)^2} \quad (2.18)$$

Pada benda yang tidak memiliki luasan permukaan yang besar seperti *tubular jacket member*, gaya drag dan gaya *slamming* dapat diabaikan (DNV RP H-103). Dan gaya *slamming* hanya mengenai benda yang *fully submerge*, sehingga persamaannya menjadi :

$$F_{hyd} = \sqrt{(F_M + F_\rho)^2} \quad (2.19)$$

dengan F_{hyd} = gaya karakteristik hidrodinamika (N)

F_D = gaya drag (N)

F_{slam} = beban akibat *slamming* (N)

F_M = gaya inersia (N)

F_ρ = gaya apung (N)

2.2.11 Gaya Inersia

Gaya inersia dari sebuah benda karena kombinasi percepatan benda dan partikel air secara matematis diberikan dalam persamaan 2.33 :

$$F_{Mi} = \sqrt{[(Mi + A_{33i})a_{ct}]^2 + [(\rho Vi + A_{33i})a_w]^2} \quad (2.20)$$

Dengan :

Mi = massa benda di udara [kg]

A_{33i} = massa tambah benda gerakan *heave* [kg]

a_{ct} = amplitudo percepatan vertical ujung *crane* [m/s^2]

ρ = massa jenis air laut = 1025 [kg/m^3]

Vi = volume benda tercelup relatif terhadap permukaan air rata-rata [m^3]

a_w = percepatan vertikal partikel air [m/s^2]

2.2.12 Gaya Apung

Perubahan *buoyancy* terhadap elevasi permukaan gelombang dapat dihitung menggunakan persamaan 2.34 :

$$F_\rho = \rho g V \quad (2.21)$$

Dengan :

- ρ = massa jenis air laut = 1025 [kg/m³]
 V = volume benda tercelup relatif dari permukaan air rata-rata terhadap muka
air puncak gelombang atau lembah gelombang [m³]
 g = percepatan gravitasi [m/s²]

2.2.13 Gaya Drag

Beban akibat gaya drag karakteristik mengikuti persamaan:

$$F_{Di} = 0.5\rho C_D A_{pi} v_r^2 \quad (2.22)$$

Dengan :

- ρ = massa jenis air laut = 1025 [kg/m³]
 C_D = koefisien drag [-]
 A_{pi} = luas penampang melintang [m²]
 v_r = kecepatan relatif antara objek dan kecepatan vertikal partikel air [m/s]

Kecepatan relative karakteristik dapat dihitung sebagai berikut:

$$v_r = v_c + \sqrt{v_{ct}^2 + v_w^2} \quad (2.23)$$

- v_c = kecepatan penurunan objek, umumnya = 0.50 [m/s]
 v_{ct} = kecepatan single amplitudo *heave* dari ujung *crane* [m/s]
 v_w = kecepatan vertikal dari partikel gelombang [m/s]

Gaya drag dan *added mass* pada struktur yang diangkat, hanya dihitung bila struktur yang diangkat berupa kabel atau tubular yang memiliki diameter besar. Namun bila struktur memiliki diameter yang kecil, maka gaya drag yang berimbas dapat diabaikan (DNV RP H-103).

2.2.14 Teori Difraksi 3 Dimensi

Keberadaan struktur dalam air dapat mempengaruhi pola aliran fluida, sehingga pola aliran fluida yang mengenai body struktur akan dibelokkan. Fenomena ini dikenal dengan istilah difraksi. Difraksi gelombang akan berpengaruh signifikan jika dimensi struktur relatif besar dibandingkan dengan

panjang gelombang. Umumnya pengaruh difraksi gelombang menggunakan teori Morison. Namun keberadaan struktur ramping tetaplah mempengaruhi medan aliran gelombang, sehingga agar perhitungan lebih akurat teori difraksi 3 dimensi seharusnya diterapkan dalam perhitungan beban gelombang.

Permasalahan difraksi untuk menghitung beban gelombang umumnya menggunakan persamaan Navier-Stokes dan menggunakan teori gelombang *regular* *Airy*. Penggunaan teori difraksi memberikan keleluasaan mengingat tidak ada batasan dalam hal ukuran struktur dan konfigurasi lambung baik itu tunggal atau jamak. Perhitungan dapat diselesaikan dengan relatif mudah dengan metode ini mengingat kecanggihan perangkat komputasi saat ini (Djarmiko, 2012).

Gaya eksitasi untuk gerakan *sway*, *heave* dan *roll* yang disebabkan oleh difraksi dapat diekspresikan dalam matriks persamaan 2.39 berikut :

$$\begin{bmatrix} f_2^D(x) \\ f_3^D(x) \\ f_4^D(x) \end{bmatrix} = i\rho\rho \int_{s(x)} e^{kz} \begin{bmatrix} \varphi_D^{(0)}(y, z, k, \mu) \\ \varphi_D^{(e)}(y, z, k, \mu) \\ \varphi_D^{(0)}(y, z, k, \mu) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -dz \\ dy \\ y = dy + (z - z_0)dz \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

$\varphi_D^{(0)}$ = kecepatan potensial difraksi pada fungsi *odd complex*.

$\varphi_D^{(e)}$ = kecepatan potensial difraksi pada fungsi *even complex*.

Kecepatan potensial difraksi ($\varphi_D^{(m)}$) dapat diekspresikan dalam persamaan dengan menggunakan diferensiasi normal.

$$\frac{\partial}{\partial n} \varphi_D^{(m)} = \left[\sum_{j=1}^N Q_j^{(m)} I_{ij}^{(m)} + \sum_{j=1}^N Q_{N+j}^{(m)} J_{ij}^{(m)} \right] + i \left[\sum_{j=1}^N Q_j^{(m)} I_{ij}^{(m)} - \sum_j Q_{N+j}^{(m)} J_{ij}^{(m)} \right] \quad (2.27)$$

Dengan :

Q_j = *green function* pada segmen j

I_{ij}, J_{ij} = koefisien *influence*

Untuk gaya gelombang fungsi waktu (*time series*) dapat dibangkitkan dari spektrum gelombang. Gaya gelombang *first order* sebagai fungsi waktu dapat diekspresikan :

$$F_{wv}^{(1)}(t) = \sum_{i=1}^N F_{wv}^{(1)}(\omega_i) \cos[\omega_i t + \varepsilon_i] a_i \quad (2.28)$$

Dengan :

$F_{wv}^{(1)}(t)$ = gaya gelombang *first order* sebagai fungsi waktu.

$F_{wv}^{(1)}(\omega)$ = gaya *exciting* gelombang *first order* per satuan amplitudo gelombang sebagai fungsi waktu.

ε_i = sudut fase komponen gelombang *first order*

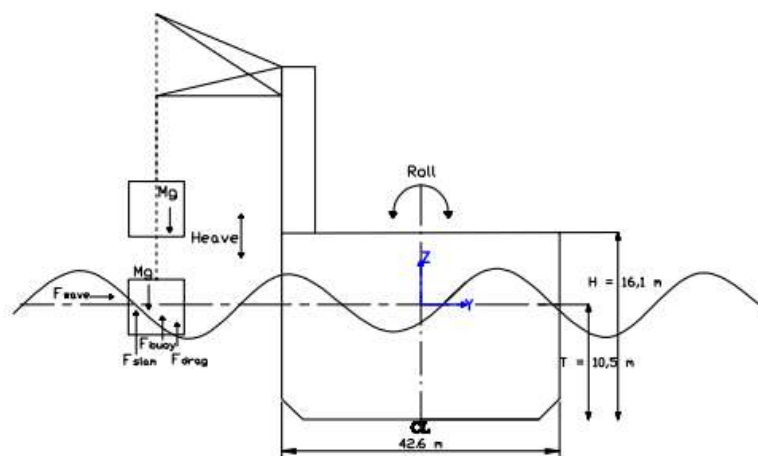
a_i = Amplitudo komponen gelombang *first order* = $\sqrt{2 S(\omega) d\omega}$

$S(\omega)$ = fungsi kepadatan spektra gelombang.

2.2.15 Free Body Diagram

Berdasarkan kategori penyebab terjadinya beban, Arnstein Hosaas (2010) mengklasifikasikan bahwa beban yang bekerja pada objek saat *lifting* di *splash zone* dikategorikan menjadi 3 yaitu:

1. Beban akibat perubahan posisi, yaitu beban *buoyancy*/gaya angkat ke atas.
2. Beban yang tergantung pada kecepatan, yaitu gaya *drag*.
3. Beban yang tergantung pada percepatan, yaitu gaya inersia.



Gambar. 2.7. Diagram Gaya yang Bekerja pada Sistem

2.2.16 Kriteria Operabilitas

Kriteria batas dalam evaluasi oprabilitas *crane vessel* pada saat menaikkan struktur keatas air disajikan dalam **Tabel 2.4** berikut:

Tabel 2.4 Kriteria Batas Untuk Mengevaluasi operabilitas.

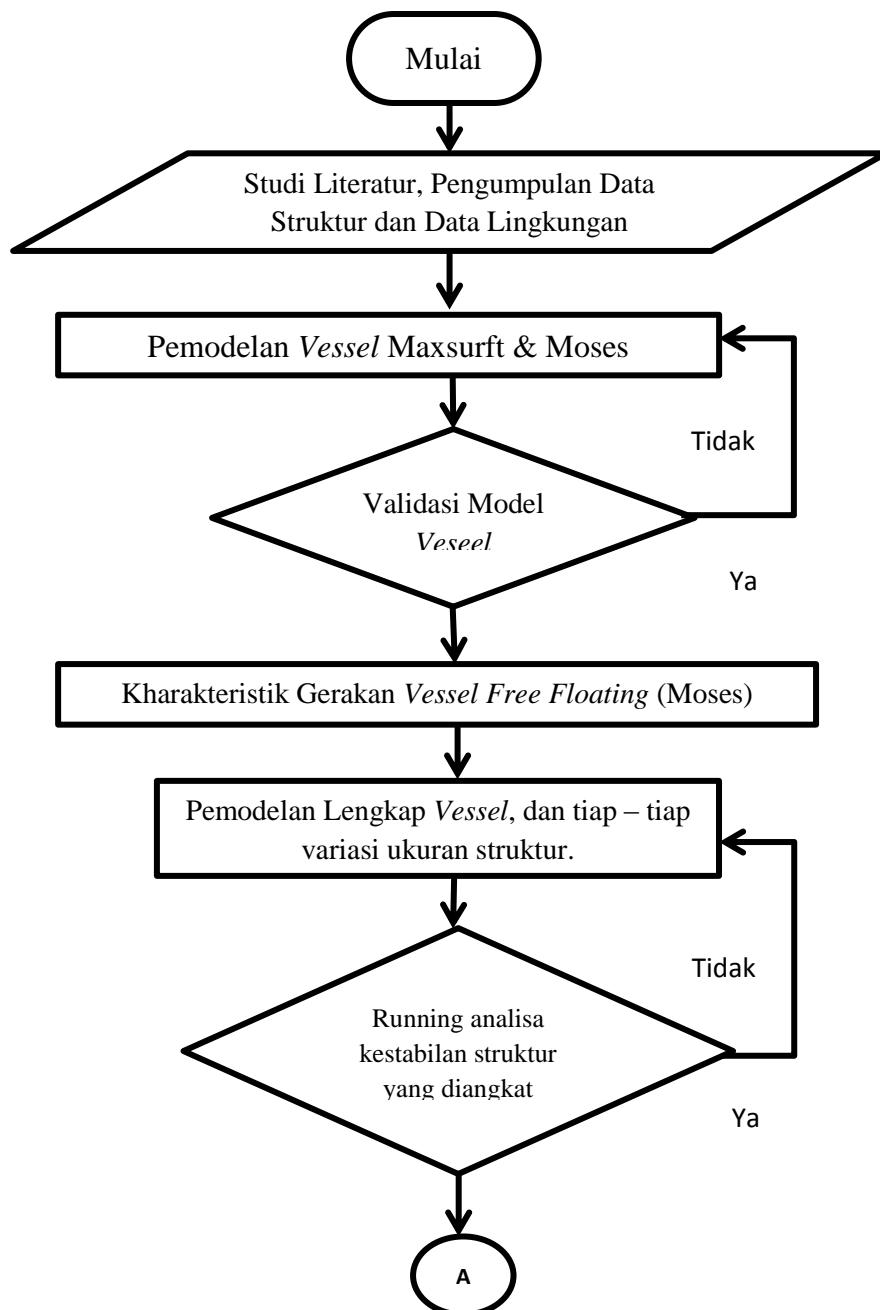
Subjek	Besaran	Harga	Kriteria Operabilitas	Satuan
Vessel	Amplitudo <i>heave</i> signifikan	1,255	Amplitudo <i>heave</i> signifikan < 1.255	m
	Amplitudo <i>roll</i> signifikan	3	Amplitudo <i>roll</i> signifikan < 3	deg
	Amplitudo <i>pitch</i> signifikan	1	Amplitudo <i>pitch</i> signifikan < 1	deg
	Amplitudo <i>Sway</i> signifikan	1,1	Amplitudo <i>pitch</i> signifikan < 1,1	m
Sling	<i>Safety Factor</i> (SF)	4	SF > 4	-

BAB III

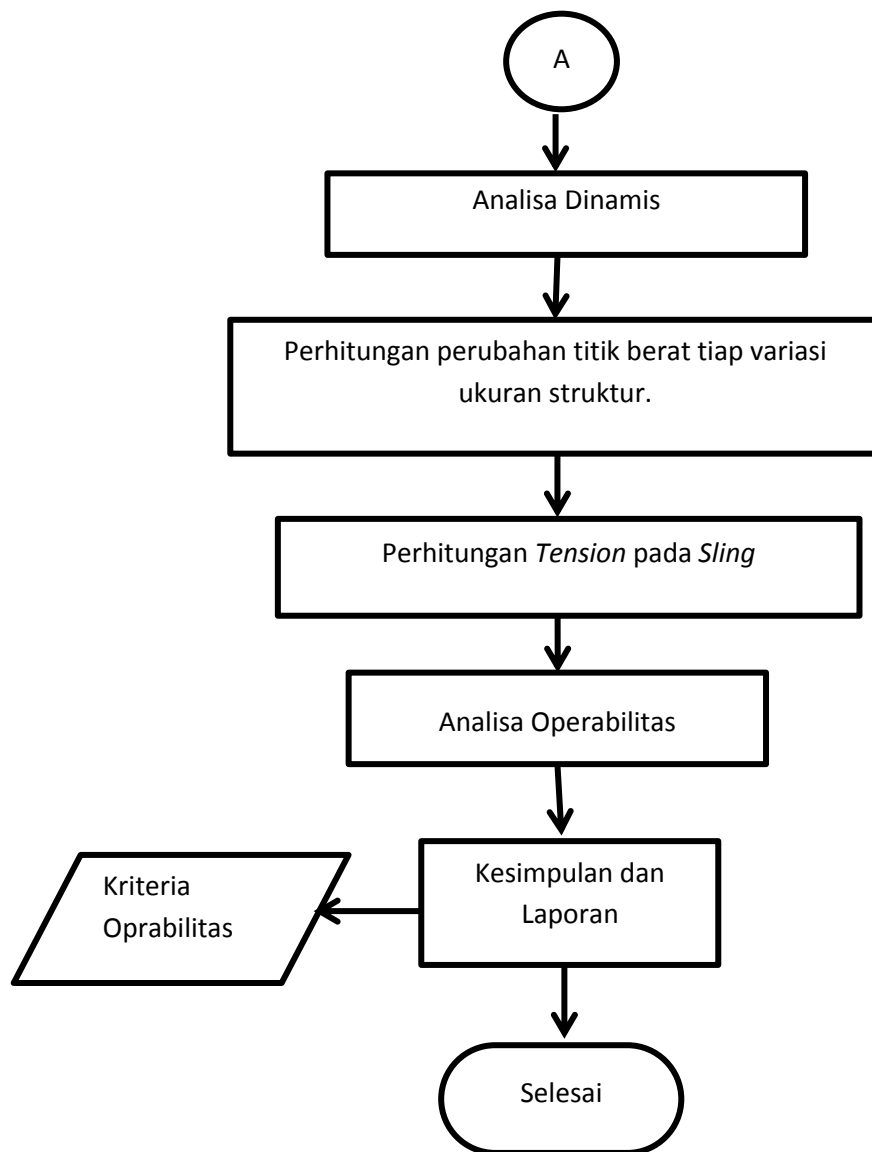
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Berikut adalah alur penelitian yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada.



Gambar 3.1.Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (berlanjut)



Gambar 3.2.Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan)

Pengerjaan Tugas Akhir ini diawali dengan melakukan Studi literatur terkait dengan permasalahan yang diambil dalam Tugas Akhir. Selanjutnya pengumpulan data Struktur dan data Lingkungan yaitu lingkungan Laut Jawa. Kemudian melakukan pemodelan *vessel* dengan maxsurf, setelah itu melakukan pemodelan *vessel* dengan menggunakan *software* MOSES.

Hasil pemodelan selanjutnya akan divalidasi dengan data hidrostatik dari *Stability book* agar model yang digunakan sudah layak untuk dilakukan analisa selanjutnya. Pemodelan dengan *software* MOSES juga akan dapat dihasilkan karakteristik hidrodinamis dari struktur seperti *Response Amplitude Operator* (RAO), *added mass* dan *damping* dan analisa *time domain*. Setelah itu dilakukan analisa pemodelan struktur tiap variasi pemotongan *Jacket Platform*. Kemudian dari outputan MOSES didapatkan hasil COG dan COB dari tiap variasi ketinggian *lifting* (*splashzone* dan *in air*).

3.2 Prosedur Penelitian

Dalam penyusunan tugas akhir ini, akan dilakukan beberapa tahapan-tahapan yaitu sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Dalam tahapan ini, akan dikumpulkan dan dipelajari literatur-literatur yang berkaitan dengan topik tugas akhir. Literatur yang akan dipelajari antara lain: literatur tentang proses *lifting in air* dan *splash zone*, penggunaan *software* Maxsurf, MOSES, SACS dan Orcaflex untuk pemodelan *vessel*, struktur, analisa gerak, *tension sling* dan lain sebagainya. Selain literatur buku-buku, akan dipelajari juga literatur-literatur lain dalam bentuk jurnal dan publikasi ilmiah baik nasional maupun internasional.

2. Pengumpulan Data

Selanjutnya, berdasarkan literatur-literatur yang telah didapat di atas, akan dilakukan pengumpulan data-data yang meliputi dimensi struktur *vessel* dan *Jacket platform*, data Lingkungan Laut Jawa Pantai Parigi.

Data Kapal yang digunakan untuk penelitian tugas akhir ini adalah kapal AEGIR yang dimiliki oleh Heerema *Marine Constructors*, dan data struktur L-COM *Platform* milik Pertamina ONWJ.

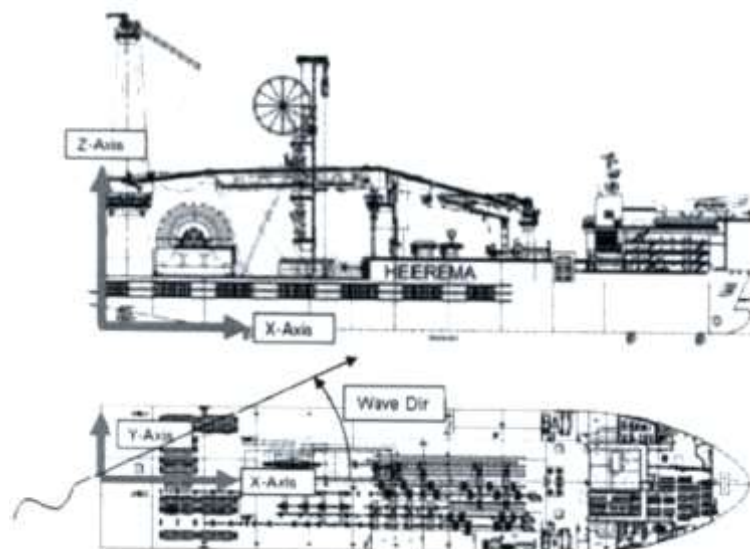
- Kapal AEGIR

Data kapal meliputi Data ukuran utama struktur pada Tabel 3.1 dan *General Arrangement* pada Gambar 3.3 sebagai berikut :

Tabel. 3.1. Data Karakteristik Aegir

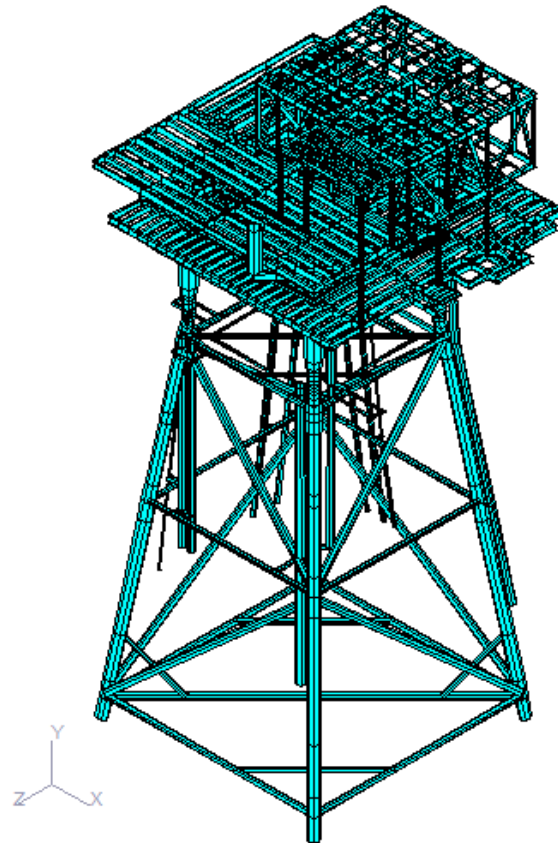
Dimensi	Nilai	Satuan
Panjang Keseluruhan (LOA)	211.48	m
Panjang diantara 2 garis tegak (Lpp)	197.6	m
Lebar (B)	46.2	m
Tinggi (H)	16.1	m
Sarat Operasi (T)	10.5	m
Displasemen Operasi	78489	Ton
Volume Displasemen	76575	m ³
Luas Bidang Garis Air (WPA)	8162	m ²
Posisi Titik Berat (CoG) dengan <i>crane up</i>		
LCG (dari <i>Stern</i>)	97.1	m
TCG (positif <i>Portside</i>)	-0.2	m
VCG (dari Lunas)	13.4	m
Tinggi Metacentra		
GM _T	9.6	m
GM _L	310.5	m

Data General Arrangement AEGIR .



Gambar 3.3 General Arrangement Kapal AEGIR (HMC Report, 2013)

- Data L-COM *Jacket Platform*



Gambar 3.4 *L-Com Platform* 3D Model (L-COM Report, 2013)

Data lingkungan yang digunakan pada tugas akhir ini adalah data gelombang signifikan dan arus di Parigi Laut Jawa. Kedalaman perairan pada kondisi ini adalah 33,36 m.

Table 3.2 Data Gelombang

Count	PERIOD		Hs (m)								Total
			0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	>7	
	Total Period (s)	2-3	854100	0	0	0	0	0	0	0	
		3-4	2736400	1206800	191200	100	0	0	0	0	4134500
		4-5	0	1421500	1314900	83000	6600	2100	0	0	2828100
		5-6	0	0	341200	149500	92700	40700	26600	4300	655000
	6-7	0	0	0	0	0	0	0	1600	1600	
Total		3590500	2628300	1847300	232600	99300	42800	26600	5900	8473300	

Data arus berdasarkan kondisi operasi dan kondisi badai di Parigi, Laut Jawa :

Table 3.3 Data Arus

Percentage Water Depth above mud-line	1-Year Return Storm Current Velocity (Ft/Sec)
0	2.59 (0.75 m/s)
10	2.26 (0.69 m/s)
20	2 (0.61 m/s)
30	1.8 (0.55 m/s)
40	1.67 (0.51 m/s)
50	1.57 (0.48 m/s)
60	1.51 (0.46 m/s)
70	1.44 (0.44 m/s)
80	1.41 (0.43 m/s)
90	1.38 (0.42 m/s)
100	1.38 (0.42 m/s)

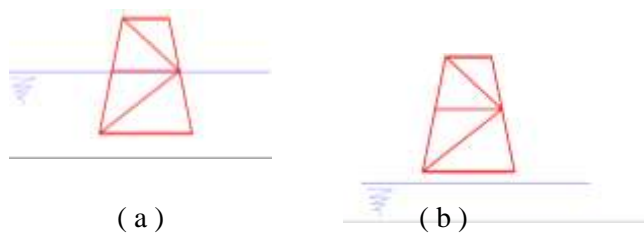
BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Skenario Pengangkatan

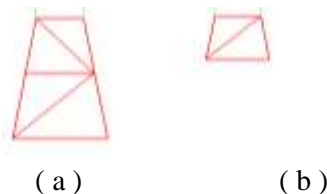
Sebelum dilakukannya analisis operabilitas *crane vessel*, terlebih dahulu akan dijelaskan tentang proses pengangkatan *Jacket Platform L-COM* yang akan dilakukan di Laut Jawa. Beberapa variasi pengerjaan dalam proses pengangkatan adalah sebagai berikut :

1. Dalam simulasi pengangkatan kali ini terdapat 2 kondisi pada objek yang akan diangkat yaitu kondisi #1 objek berada di *splash zone* dan #2 benda berada di udara (*ot of water*). Variasi objek dilakukan untuk mendapatkan perbedaan letak titik *bouyancy* dan besarnya *tension sling* yang digunakan dalam pengangkatan.



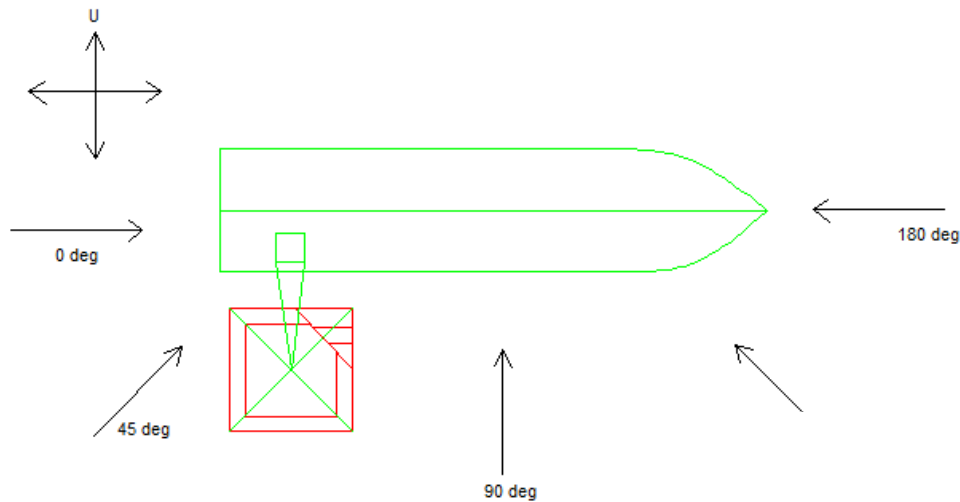
Gambar 4.1. Simulasi Pengangkatan *Jacket Platform L-COM*, (a) Kondisi *Splashzone*, (b) Kondisi *Out Of Water*.

2. Variasi kondisi objek yang diangkat juga dilakukan dalam penelitian ini, untuk mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap *tension sling* dan stabilitas dari *crane vessel* yang digunakan. Variasi objek yang dilakukan berupa objek utuh dan objek dengan beban dibagi menjadi dua.



Gambar 4.2. Variasi Kondisi Beban Objek yang Diangkat, (a) Kondisi Utuh dan (b) Kondisi Seperdua Beban

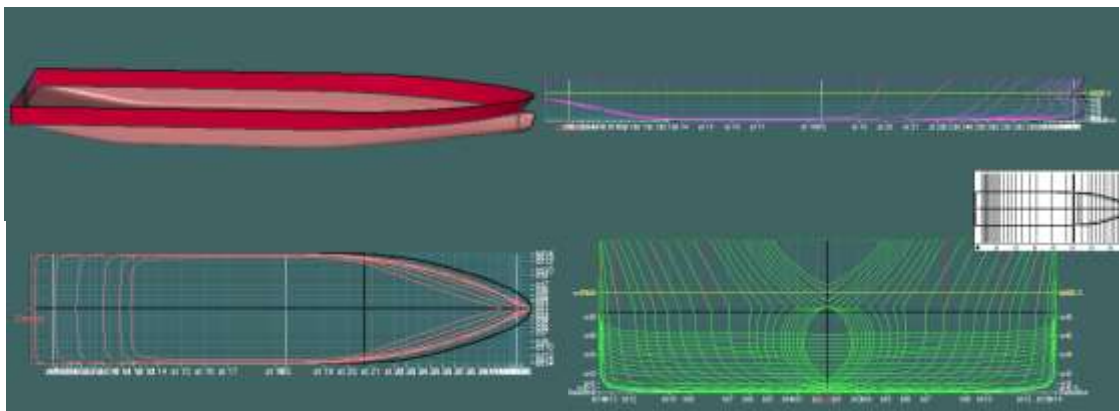
3. Terdapat **4 variasi arah pembebanan** gelombang, yaitu 0° , 45° , 90° dan 180° . Arah pembebanan gelombang yang diambil lebih difokuskan pada arah yang terkena langsung dengan struktur L-COM. Sedangkan untuk arah gelombang yang tidak terkena langsung (terhalang badan kapal) tidak dilakukan analisis.



Gambar 4.3. Arah Pembebanan Gelombang

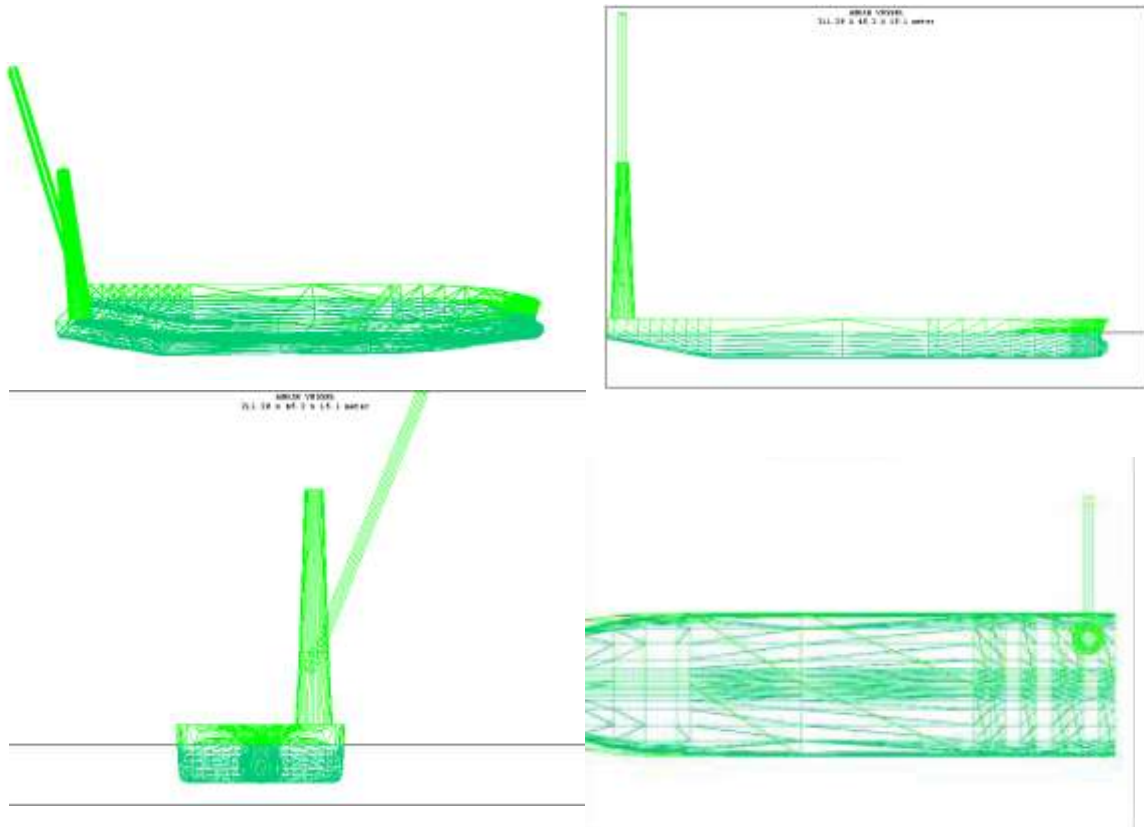
4.2 Pemodelan Kapal AEGIR

Tahap pertama yang dilakukan adalah pemodelan *hull* (lambung) kapal AEGIR dengan berdasarkan data yang telah didapatkan. Pemodelan lambung Kapal AEGIR dilakukan menggunakan *software* Maxsurf dengan acuan gambar *General Arrangement* (GA) dan *principal dimension*. Hasil pemodelan lambung AEGIR dengan menggunakan *software* Maxsurf ditunjukkan dalam Gambar berikut:



Gambar 4.4. Hasil Pemodelan Kapal AEGIR Dalam *Software* Maxsurf

Setelah model lambung kapal, kemudian koordinat *offset* lambung kapal hasil pemodelan Maxsurf digunakan sebagai *input* untuk memodelkan lambung AEGIR menggunakan *software* MOSES 7.00. Hasil pemodelan lambung AEGIR beserta *Crane* menggunakan MOSES 7.00 dapat dilihat pada Gambar berikut :



Gambar 4.5. Pemodelan Kapal AEGIR dengan *Software* Moses

Hasil dari pemodelan menggunakan *software* Moses ini berupa respons gerak dari *vessel crane* dalam keadaan *free floating* yang dikenai beban gelombang dari lima arah pembebanan yaitu 0° , 45° , 90° , 135° dan 180° . Dalam outputan berupa respon dapat dibuat grafik RAO yang kemudian dapat dilihat apakah *vessel* tersebut sudah dalam keadaan stabil. Selanjutnya dilakukan verifikasi model dari Maxsurf dan Moses dengan data asli *vessel*. Hasil verifikasi disajikan dalam Tabel 4.1 dibawah ini :

Tabel 4.1. Validasi Data *Vessel* dengan Hasil Pemodelan *Software* Maxsurf dan Moses

Kondisi Operating Load					Corr based on Real (%)	
Parameter	Data	Maxsurf	Moses	Unit	Maxsurf	Moses
Displacement	78489	78201.00	77810.00	ton	0.37	0.87
Loa	211.48	211.48	211.48	m	0.00	0.00
Lwl	-	202.00	207.48	m	-	-
Lpp	197.6	197.60	197.60	m	0.00	0.00
B	46.2	46.20	46.20	m	0.00	0.00
D	16.1	16.10	16.10	m	0.00	0.00
T	10.5	10.50	10.50	m	0.02	0.00
GMT	9.6	9.41	9.41	m	1.98	1.98
GML	310.5	313.62	313.62	m	1.00	1.00
WPA	8162	8322.07	-	m ²	1.96	-
KMT	-	22.99	-	m	-	-
KML	-	323.14	-	m	-	-
BMT	-	17.34	-	m	-	-
BML	-	317.50	-	m	-	-
cog x	-97.1	-97.10	-97.10	m	-	-
cog y	-0.2	-0.20	-0.20	m	-	-
cog z	13.4	13.40	13.40	m	0.00	0.00
KB	5.6	5.64	5.63	m	0.77	0.23
LCB	-	70.39	-	m	-	-
Vol Displacement	76575	76293.82	76293.82	m ³	0.37	0.37

4.3 Karakteristik Gerakan Kapal Pada Gelombang Reguler

Pada saat kondisi terapung bebas (*free floating*), kapal yang terkena beban gelombang reguler akan memiliki karakteristik gerak yang terbagi menjadi dua vertikal dan horizontal. Mode gerak vertikal berupa *heave*, *roll* dan *pitch* dan mode gerak horizontal berupa *surge*, *sway* dan *yaw*. Mode gerak vertikal akan lebih dominan dikarenakan pada gerak *heave*, *roll* dan *pitch* ini memiliki faktor kekakuan (*stiffness*) akibat gaya eksitasi gelombang harmonik (*harmonic wave*). Dengan adanya faktor kekakuan tersebut akan menyebabkan harga faktor redaman menjadi lebih kecil sehingga ketika gerakan akan lebih besar dari pada gerakan horizontal.

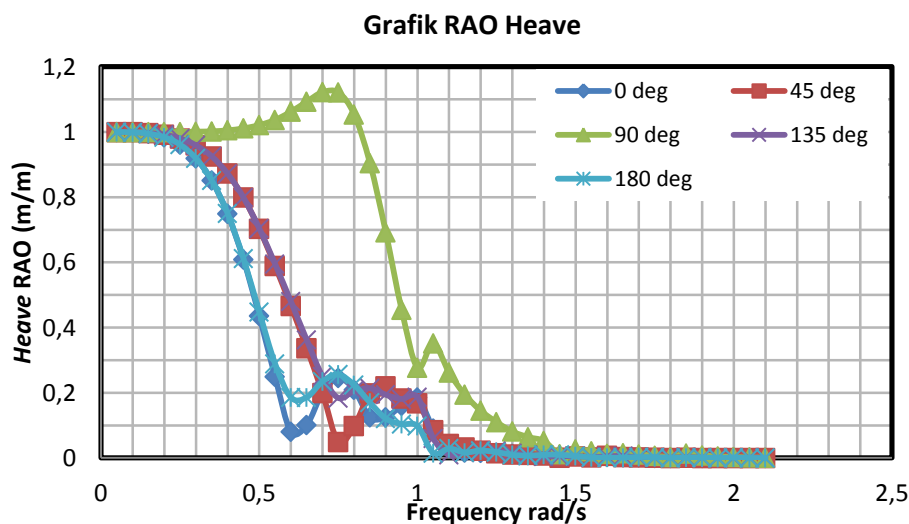
Sedangkan moda gerak horizontal tidak memiliki faktor kekakuan pada kondisi terapung bebas (*free floating*). Sehingga redaman lebih mendominasi sehingga menghasilkan gerakan yang kecil. Bilapun ada kenaikan pada bagian tertentu, maka kenaikan kurva tersebut dipengaruhi oleh efek kopel dari gerakan lainnya.

Penjelasan dibawah ini menerangkan tentang karakteristik gerak kapal dengan 5 arah variasi pembebanan gelombang. Meliputi gelombang buritan (*heading* 0°), gelombang perempat buritan (*heading* 45°), gelombang sisi (*heading* 90°), gelombang perempat haluan (*heading* 135°), dan gelombang haluan (*heading* 180°). Analisa ini dilakukan untuk membandingkan besarnya *Response Amplitude Operator* (RAO) gerakan dari Kapal.

4.3.1 Karakteristik Gerakan Moda Vertikal (*heave, roll dan pitch*)

Dikarenakan memiliki faktor kekakuan, maka gerakan vertikal ini akan lebih dominan bila dimandingkan dengan gerakan horizontal.

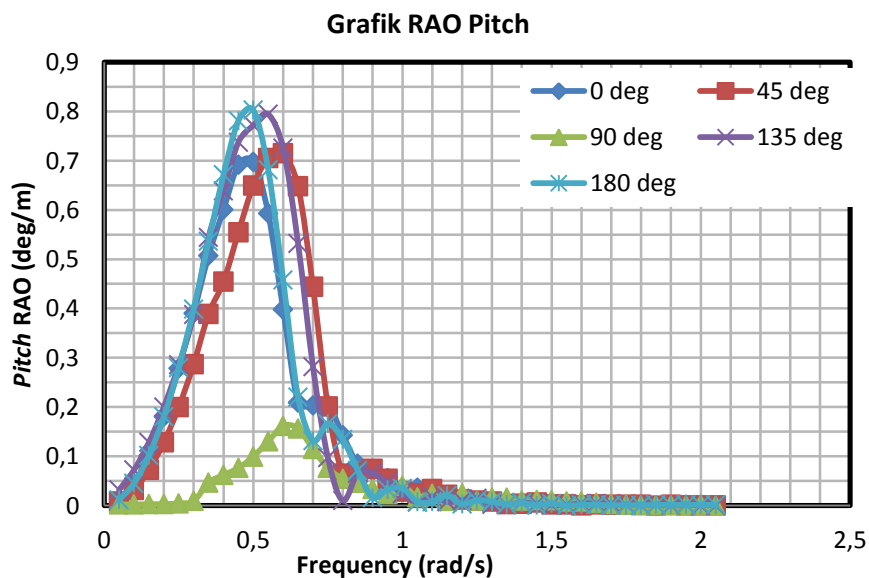
RAO *Heave* seperti terlihat pada Gambar 4.6 pada frekuensi rendah RAO *Heave* mempunyai harga sekitar 1.00 m/m. Intensitas gerakan *heave* terbesar terjadi saat gelombang sisi atau *heading* 90°. Harga tertingginya sebesar 1.14 m/m yang terjadi pada frekuensi 0.73 rad/s.



Gambar 4.6. RAO Gerakan *Heave* pada Kondisi *Free Floating*

Kurva RAO *heave* untuk gelombang sisi berawal dari harga *unity* yaitu 1.00 m/m kemudian naik bertahap hingga frekuensi puncaknya 0.73 rad/s selanjutnya harganya turun dan terdapat puncak kedua pada frekuensi 1.13 rad/s. Untuk gelombang yang berpropagasi lain rata- memiliki karakteristik yang hampir mirip yaitu *heading* 0° dan *heading* 180°, memiliki harga yang hampir sama. RAO *heave* tertinggi memiliki harga sebesar 1.01 m/m yaitu pada frekuensi 0.05 rad/s. Dari harga awal yang mendekati nilai *unity* kemudian menurun secara tajam sampai pada frekuensi 0.65 rad/s sebesar 0.13 m/m. Selanjutnya harga RAO *heave* terus menurun secara bertahap sampai frekuensi 1 rad/s. Pada *heading* 45° *heading* 135° , harga tertinggi terdapat pada frekuensi 0,05 seharga 1,01 m/m selanjutnya turun dan terdapat puncak kedua pada frekuensi 0,75 rad/s sebesar 0.24 m/m.

Gerakan *pitch* seperti terlihat pada Gambar 4.7 dibawah, terlihat secara keseluruhan rata – rata memiliki harga kurang dari 1 *degree* pada amplitudo eksitasi gelombang satu meter harga RAO *pitch* tertinggi gelombang haluan (*heading* 180°) dan gelombang buritan (*heading* 0°) secara berturut-turut 0.802 deg/m dan 0.798 deg/m, keduanya terjadi pada frekuensi puncak masing - masing 0.5 rad/s dan 0,62 rad/s.

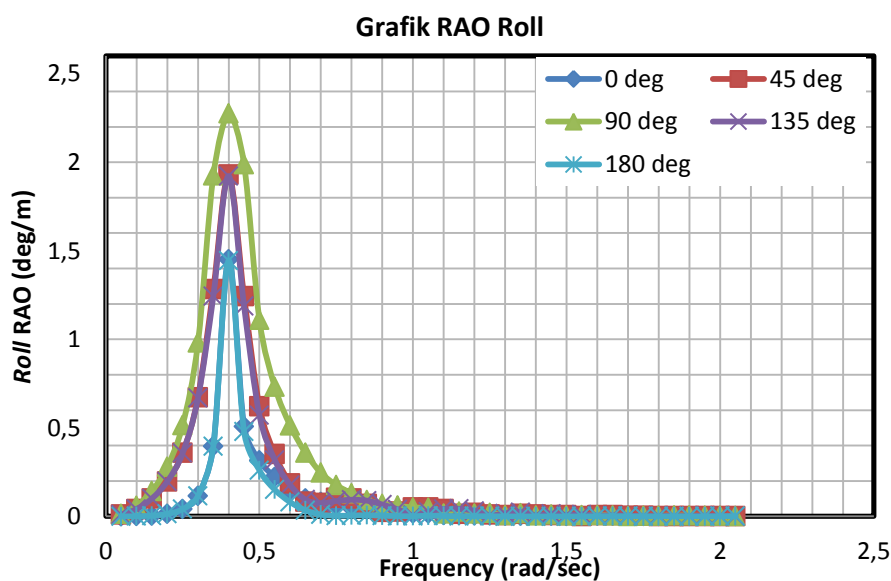


Gambar 4.7. RAO Gerakan *Pitch* pada kondisi *Free Floating*

Pada gelombang perempat haluan (*heading* 135°) harga RAO *pitch* tertinggi 0.738 deg/m terjadi pada frekuensi puncak yang sama yaitu 0.6 rad/s. Intensitas

gerakan *pitch* akibat gelombang perempat buritan (*heading* 45°) harga tertinggiya sebesar 0.742 deg/m, menarik diamati bahwa terdapat pergeseran frekuensi pada gerakan *pitch* tertinggiya, yaitu di frekuensi 0.6 rad/s. Selanjutnya intensitas gerakan *pitch* akibat gelombang sisi (*heading* 90°) tidak signifikan, walaupun masih terdapat harga sebesar 0.164 deg/m yang terjadi di frekuensi resonansi gerakan *heave* 0.70 rad/s. Hal menjelaskan bahwa gerakan *pitch* yang terjadi di gelombang sisi ternyata diakibatkan oleh resonansi gerakan *heave*.

Harga RAO *roll* tertinggi pada Gambar 4.8 untuk gelombang sisi (*heading* 90°) sebesar 2.32 deg/m yang terjadi pada frekuensi 0.4 rad/s. gerakan *roll* pada *heading* 45° dan 135° memiliki karakteristik yang sama dan memiliki puncak yang sama yaitu 2 deg/m pada frekuensi 0,4 rad/s. Sedang untuk *heading* 180° dan 0° memiliki nilai tertinggi yang sama sebesar 1,5 pada frekuensi yang sama. Sebaliknya, untuk intensitas gerakan *roll* akibat gelombang haluan dan buritan tidak bernilai signifikan.



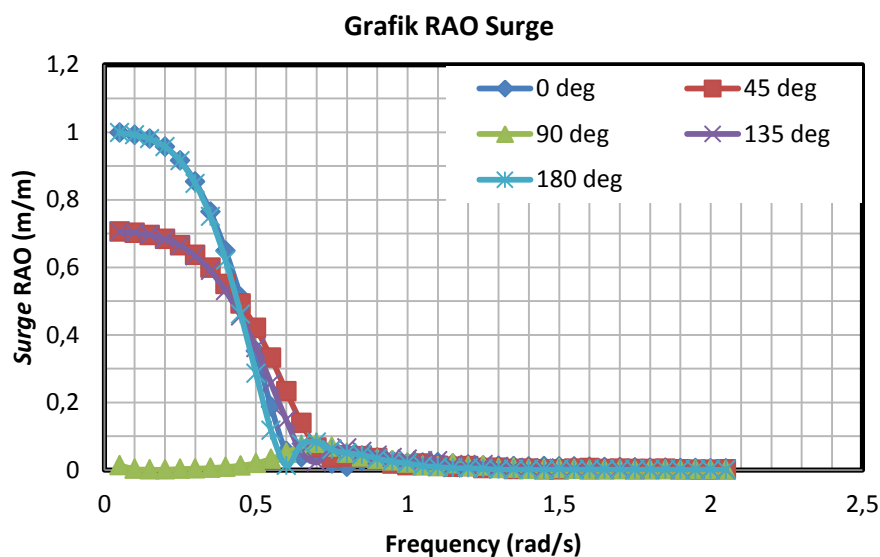
Gambar 4.8. RAO Gerakan *Roll* pada Kondisi *Free Floating*.

4.3.2 Karakteristik Gerakan Moda Horizontal (*surge*, *sway* dan *yaw*)

Setelah secara seksama mengkaji karakteristik gerakan vertikal, selanjutnya akan dibahas pola gerakan horizontal kapal, yakni *surge*, *sway* dan *yaw*. Dengan mengacu pada Gambar 5.9 sampai dengan 5.11. Kurva-kurva RAO ketiga gerakan ini

mempunyai harga besar di frekuensi rendah, mengarah ke nilai 1.0 pada frekuensi nol. Namun demikian, perlu digaris bawahi disini bahwa frekuensi nol artinya periode gelombangnya adalah tidak berhingga atau sebenarnya sama dengan air tenang sehingga tidak pernah dan tidak perlu lagi di bahas (Djatkiko, 2012).

Dapat dilihat pada Gambar 4.9 bahwa RAO *Surge* terbesar berada pada daerah frekuensi rendah, yaitu di frekuensi 0.05 rad/s harga RAO gelombang haluan (*heading* 180°) dan buritan (*heading* 0°) dengan nilai sama sebesar 0.998 m/m. Dari harga puncak RAO pada frekuensi 0.05 rad/s, harganya kemudian menurun tajam menjadi 0.183 m/m pada frekuensi sekitar 0.7 rad/s. Namun kemudian mengalami kenaikan sedikit menjadi 0.186 m/m pada frekuensi sekitar 0.75 rad/s dan selanjutnya menurun secara bertahap sampai 0.001 m/m pada frekuensi 2.05 rad/s. Akibat gelombang buritan, pola kurva gerakan *surge* adalah tipikal dengan arah gelombang haluan.

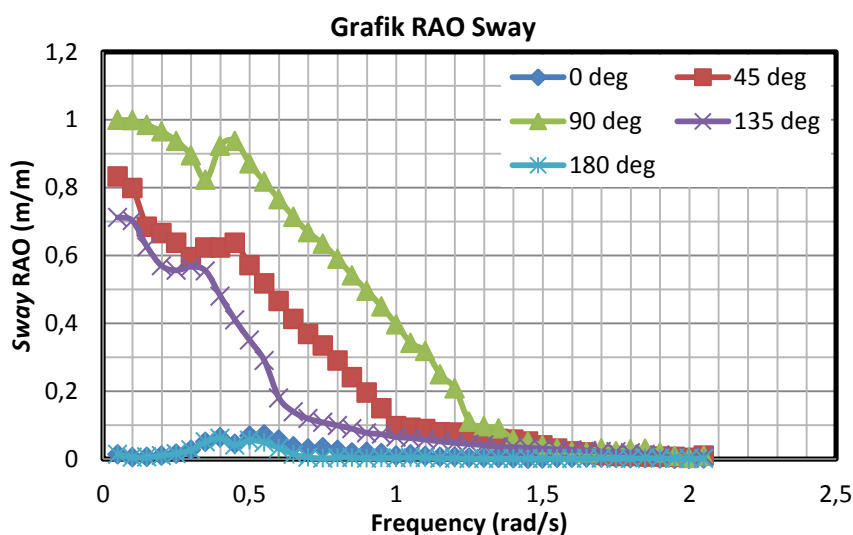


Gambar 4.9. RAO Gerakan *Surge* pada Kondisi *Free Floating*

RAO *Surge* tertinggi untuk gelombang perempat buritan (*heading* 45°) yaitu sebesar 0.706 m/m pada frekuensi 0.05 rad/s kemudian menurun signifikan seiring bertambahnya frekuensi. Akibat gelombang perempat buritan, pola kurva gerakan *surge* adalah tipikal dengan arah gelombang perempat haluan (*heading* 135°). Gelombang sisi menghasilkan RAO *surge* yang tidak signifikan, yaitu berada di bawah harga 0.1 m/m. RAO tertingginya hanya 0.08 m/m yang terjadi pada frekuensi 0.7 rad/s. RAO *surge* dapat disimpulkan sudah sesuai mengingat respon terbesar *surge*

mengikuti arah gelombang dengan *heading* dari depan (haluan) dan belakang kapal (buritan). Harga RAO *surge* akibat gelombang perempat akan bernilai lebih kecil dibandingkan harga RAO *surge* akibat gelombang haluan dan gelombang buritan. Untuk gelombang sisi (*heading* 90°) RAO *surge* akan sangat kecil atau tidak signifikan. Bahkan secara teoritis gerakan *surge* tidak akan terjadi pada gelombang sisi, namun komputasi menunjukkan adanya hasil.

RAO gerakan *Sway* dapat dilihat pada Gambar 4.10, intensitas gerakan terbesar terjadi pada propagasi gelombang sisi (*heading* 90°). Harga RAO *sway* tertinggi adalah sebesar 0.999 m/m yang terjadi pada frekuensi 0.05 rad/s. Dari harga tertingginya RAO *sway* terus menurun seiring meningkatnya frekuensi sampai dengan frekuensi 0.25 rad/s sebesar 0.823 m/m dan kembali naik pada frekuensi 0.3 rad/s sebesar 0.923 m/m.

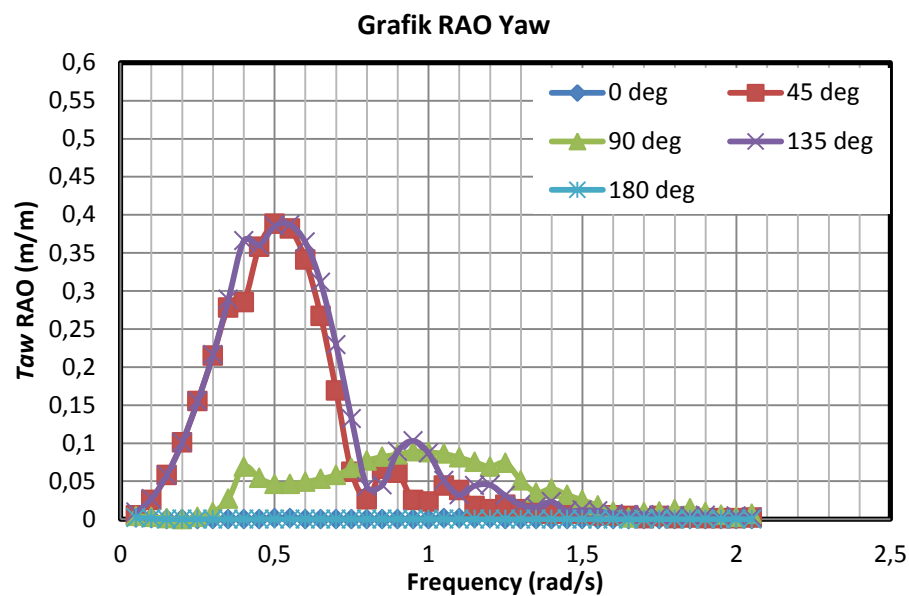


Gambar 4.10. RAO Gerakan *Sway* pada Kondisi *Free Floating*

RAO *sway* pada gelombang perempat buritan (*heading* 45°) memiliki intensitas yang lebih rendah dibandingkan dengan akibat gelombang sisi. RAO *sway* tertinggi akibat gelombang perempat buritan yaitu sebesar 0.832 m/m yang terjadi pada frekuensi 0.05 rad/s. Pada gelombang perempat haluan (*heading* 135°), RAO *sway* memiliki harga lebih rendah dari perempat buritan yaitu nilai RAO terbesar pada 0.712 m/m pada frekuensi 0.05. Sedangkan untuk gelombang haluan (*heading* 180°) dan gelombang buritan (*heading* 0°) harga RAO *sway* tidak signifikan, yaitu harga tertingginya hanya 0.072 m/m untuk gelombang buritan pada frekuensi 0.55 rad/s, dan untuk gelombang haluan hanya 0.061 m/m pada frekuensi 0.4 rad/s. Gerakan *sway*

dominan terjadi akibat gelombang dengan frekuensi rendah atau gelombang panjang, seperti pada gerakan *surge*. Secara keseluruhan karakteristik gerakan *sway* dari AEGIR adalah cukup baik mengingat harga RAO nya lebih kecil dari 1.0 m/m. Yang artinya amplitude respon *sway* yang terjadi lebih kecil dari amplitudo eksitasi gelombang.

Karakteristik gerak Kapal moda *yaw* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 di bawah ini secara umum intensitas gerakan *yaw* cukup kecil, yaitu harga tertinggi dari semua arahnya berada di bawah 0.4 deg/m.



Gambar 4.11. RAO Gerakan *Yaw* pada Kondisi *Free Floating*

Untuk gelombang haluan (*heading* 180°) dan buritan (*heading* 0°) harga RAO *yaw* tidak signifikan, yaitu hanya berada di bawah 0.025 deg/m saja. Hal ini mengingat *yaw* merupakan gerakan rotasional, sehingga kecil pengaruh gerakan *yaw* yang diakibatkan dari eksitasi gelombang sejajar dengan panjang kapal. Sedangkan untuk gelombang sisi (*heading* 90°) harga RAO *yaw* bernilai kecil di awal pada frekuensi 0.05 rad/s hanya bernilai 0.005 deg/m kemudian naik sampai dengan harga 0.046 deg/m pada frekuensi 0.45 rad/s. Setelah itu naik perlahan sampai 0.088 deg/m pada frekuensi 1 rad/s setelah itu turun lagi dan naik pada frekuensi 1.1 sebesar sama 0.088 deg/m setelah itu berangsur turun. Intensitas gerakan *yaw* akan lebih dominan akibat gelombang *quartering* dalam kasus ini pada propagasi gelombang perempat buritan dan perempat haluan.

Meskipun demikian harga tertingginya pada perempat buritan (*heading* 45°) dan perempat haluan (*heading* 135°) 0.396 deg/m dan 0.383 deg/m pada frekuensi 0,5 rad/s. Secara keseluruhan karakteristik gerakan *yaw* kapal cukup baik mengingat harga RAO nya lebih kecil dari 1.0 deg/m. Karakteristik gerakan *yaw* dari kapal dapat dikategorikan wajar, mengingat amplitudo gerakan terbesar terjadi akibat gelombang menyilang dan amplitude gerakan akibat gelombang yang sejajar maupun tegak lurus badan kapal bernilai kecil. Selanjutnya dirangkum nilai maksimum RAO untuk setiap moda gerakan pada masing-masing arah propagasi gelombang dalam Tabel 4.2 sebagai berikut:

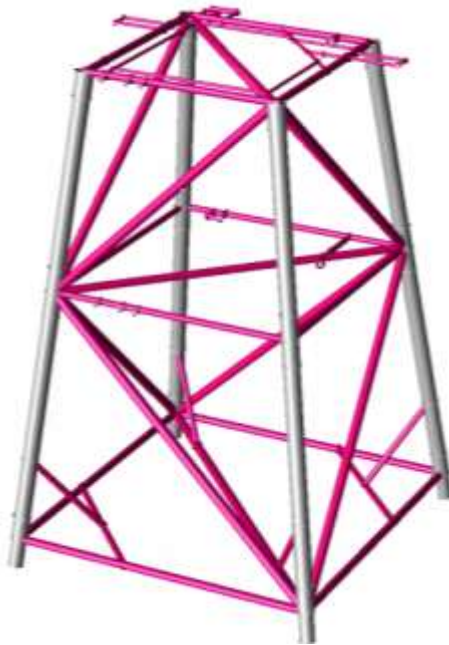
Tabel 4.2 RAO Tertinggi Gerakan Kapal

Moda Gerakan	Satuan	RAO Maximum				
		0 deg	45 deg	90 deg	135 deg	180 deg
<i>Surge</i>	m/m	0.998	0.706	0.08	0.706	0.998
<i>Sway</i>	m/m	0.072	0.832	0.999	0.712	0.0061
<i>Heave</i>	m/m	1.01	1.02	1.17	1.03	0.99
<i>Roll</i>	deg/m	1.51	2.00	2.23	2.00	1.52
<i>Pitch</i>	deg/m	0.762	0.742	0.254	0.782	0.802
<i>Yaw</i>	deg/m	0.022	0.383	0.088	0.396	0.023

 RAO Terbesar

4.4 Pemodelan *Jacket* L-COM

Pemodelan struktur *Jacket* L-COM ini lihnya berupa struktur utama saja. Pemodelan *Jacket* awalnya dilakukan dengan *Software* SACS guna mengetahui konfigurasi member dan joint dari struktur yang diangkat. Pemodelan dilakukan berdasarkan data properti strukture tiap member dari model pada *software* Strudl Platform PHE (Pertamina Hulu Energy). Dari penyajian data struktur sebelumnya diketahui bawa *Selfweight Jacket* utuh sebesar 326,31 ton, potongan bagian atas 169, 21 ton dan potongan bawah 197,4 ton. Pemodelan *Jacket* tiap konfigurasi ukuran ditunjukkan pada Gambar 4.12 – 4.14 :



Gambar 4.12. Pemodelan *Jacket Stucture* pada *Software SACS* , Struktur Utuh



Gambar 4.13. Pemodelan *Jacket Stucture* pada *Software SACS* Struktur Potongan Atas



Gambar 4.14. Pemodelan *Jacket Structure* pada *Software SACS* Struktur Potongan Bawah.

Disebabkan pemodelan *lifting* yang lebih rumit apabila struktur potongan bawah dari sisa potongan atas, maka untuk lebih memudahkan proses perhitungan dibuat menjadi struktur setengah utuh, bukan struktur sisa.

Selanjutnya bila *Jacket* telah memenuhi syarat *selfweight*-nya dan running statis UC tiap member memenuhi (tidak > 1), maka dilakukan pemodelan analisa *Lifting Jacket* saat kondisi *In Air* (diatas air) ketika struktur tidak menyentuh air. Apabila *tension sling* memenuhi dan *COG Shifting in air* dapat ditemukan.

Analisa *lifting* pada *software SACS*, beban – beban yang diangkat perlu dikalikan dengan DAF (*Dynamic Amplification Factors*), yang merupakan faktor pengali guna menggantikan beban dinamis yang tidak diketahui datanya seperti beban angin dan lainnya. Sehingga beban dinamis yang mengenai struktur dapat ditransformasi menjadi beban statis dengan menggunakan DAF. Besarnya DAF seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 sehingga analisa *Lifting* kondisi *In Air* daerah *Offshore* pada *Software SACS* 5.6 dapat dilakukan.

4.5 Sistem *Rigging*

Dalam proses *Lifting*, sudut yang dibentuk oleh tali *sling* terhadap objek yang diangkat harus $\geq 60^\circ$, dan dari perhitungan konfigurasi *rigging* yang telah dilakukan dan berdasar data *Crane* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.17 dan Tabel 4.7 berikut :

Tabel 4.3. Data Konfigurasi *Riging*

Dimensi	Nilai	Satuan
Kapasitas <i>Crane</i> sampai radius 50 m	3000	Ton
<i>Slew Angle</i>	67	deg
<i>Boom Angle</i>	65	deg
<i>Diameter Wire</i>	35	mm
<i>Hoist</i>		
Jumlah	1	-
Reeving	12	-
Kekakuan <i>Axial</i>	3.36E+06	kN
<i>Sling</i>		
Jumlah	4	-
Panjang <i>Sling</i> 1	18,354	m
Panjang <i>Sling</i> 2	18,291	m
Panjang <i>Sling</i> 3	18,373	m
Panjang <i>Sling</i> 4	18,311	m
<i>Safe Working Load Hoisting Wire</i>	500	Ton
Kekakuan <i>Axial</i> (EA)	4,50E+06	kN
Posisi Ujung <i>Crane</i>		
X (dari <i>Stern</i>)	8,4	m
Y (dari Tengah)	43,6	m
Z (dari Lunas)	118,6	m

4.6 Sensifity Centre of Gravitation (COG Shifting)

COG *shifting* dilakukan untuk mendapatkan *anvelope* pergeseran titik COG yang berbeda sejauh 3 – 6 ft (1 – 2 m) atau 10% dari panjang keseluruhan arah-x dan arah-y, pada tiap variasi beban yang diangkat, pada perhitungan kali ini penulis menggunakan jarak 1 m atau 0,5 m dari *initial* COG dengan perhitungan pada kondisi utuh sebagai berikut :

Berat Struktur Utuh = 326,31 ton

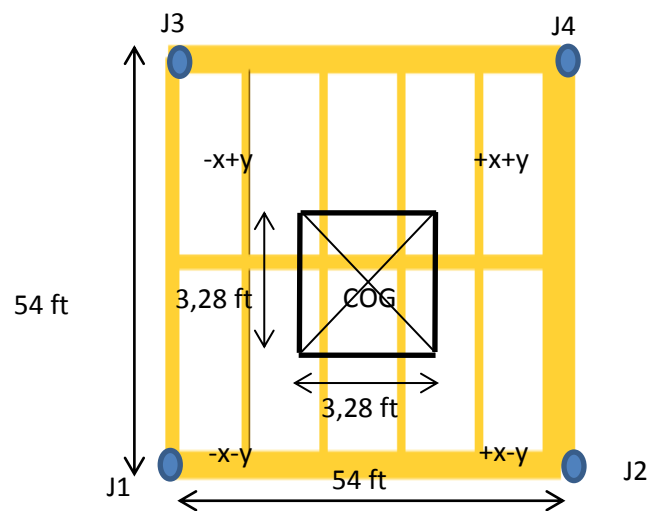
$$= 652,61 \text{ kips}$$

COG	X	Y	Z
	-0,028	0,091	-18,033

$$Anvellope = 1 \text{ m} = 3,28 \text{ ft}$$

Jarak antar titik *lift* sumbu-x = Jarak antar titik *lift* sumbu-x

$$= 16,4 \text{ m} = 54 \text{ ft}$$



Gambar 4.15. *Anvellope Load COG Jacket Stucture*

Dengan menggunakan rumus:

$$F_{z(x)} = \frac{F_z \times d_x}{L_x} \quad (4.1)$$

Karena $L_x = L_y$ maka $F_{z(x)} = F_{z(y)}$

$$F_z = \frac{652,61 \times \left(\frac{3,28}{2}\right)}{54}$$

$$F_z = \frac{2140,56}{54}$$

$$F_z = 19,877 \text{ kips}$$

Sehingga untuk menggeser COG perlu dikenakan gaya F_z dengan arah yang berlawanan pada sisi yang berlawanan pada tiap- iap titik yang dikaitkan dengan tali *sling*. Besarnya Gaya yang diaplikasikan pada struktur utuh tertadapat pada Tabel 4.3 dibawah ini :

Tabel 4.4. Aplikasi Gaya pada Tiap Titik *Lift*

CoG Force	CoG Shift NW (+X+Y)	CoG Shift - NE (-X+Y)	CoG Shift - SW (-X-Y)	CoG Shift SE (+X-Y)
J1	19,877	0,00	0,000	-19,877
J2	0,00	-19,877	19,877	0,000
J3	0,00	19,877	-19,877	0,000
J4	-19,877	0,00	0,000	19,877

Perhitungan ini juga berlaku pada kondisi struktur yang telah terpotong bagian atas dan bagian bawah dengan *Anvelope* arah-x dan arah-y 1 m. Sehingga didapatkan pergeseran COG seperti pada Tabel 4.4 – Tabel 4.6 sebagai berikut :

Tabel 4.5. COG & COG Shift Kondisi *Jacket* Utuh

COG dan COG Shift			
	X	Y	Z
<i>Initial</i> COG	-0,028	0,091	-18,033
COG NW (+X+Y)	0,472	0,591	-18,033
COG NE (-X+Y)	-0,528	0,591	-18,033
COG SE (-X-Y)	-0,528	-0,409	-18,033
COG SW (+X-Y)	0,472	-0,409	-18,033

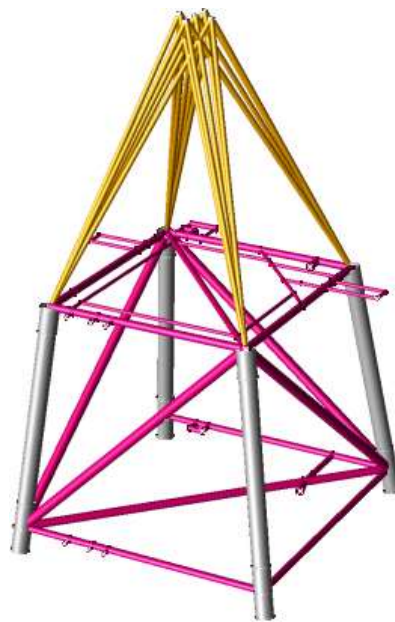
Tabel 4.6. COG & COG Shift Kondisi *Jacket* Potongan Atas

COG dan COG Shift			
	X	Y	Z
<i>Initial</i> COG	-0,056	0,181	-9,007
COG NW (+X+Y)	0,444	0,681	-9,007
COG NE (-X+Y)	-0,556	0,681	-9,007
COG SE (-X-Y)	-0,556	-0,319	-9,007
COG SW (+X-Y)	0,444	-0,319	-9,007

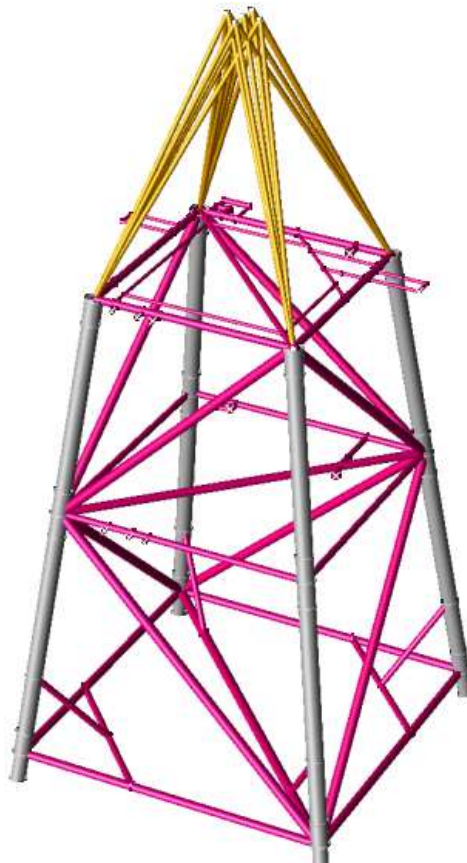
Tabel 4.7. COG & COG Shift Kondisi *Jacket* Potongan Bawah

COG dan COG Shift			
	X	Y	Z
<i>Initial</i> COG	-0,0016	0,0012	-27,51
COG NW (+X+Y)	0,4984	0,4984	-27,51
COG NE (-X+Y)	-0,5016	0,4984	-27,51
COG SE (-X-Y)	-0,5016	-0,4988	-27,51
COG SW (+X-Y)	0,4984	-0,4988	-27,51

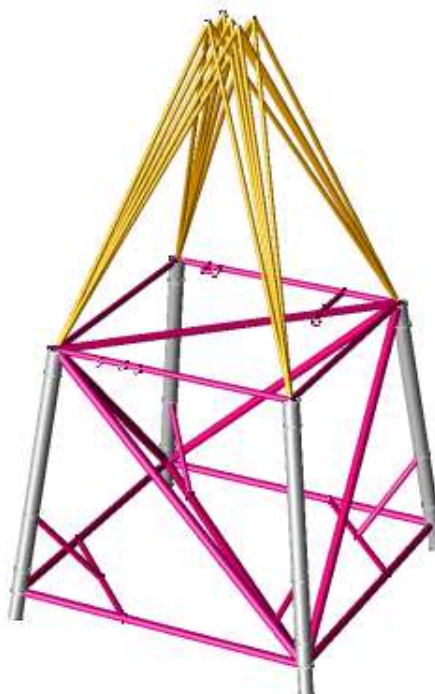
Hasil pemodelan konfigurasi sling tiap titik iniatial COG dan COG Shifting pada *software* SACS tiap – tiap kondisi *Jacket* dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4.16. Pemodelan *Initial* COG dan COG Shift *Jacket Structure* dan *Sling* pada *Software* SACS Potongan Atas



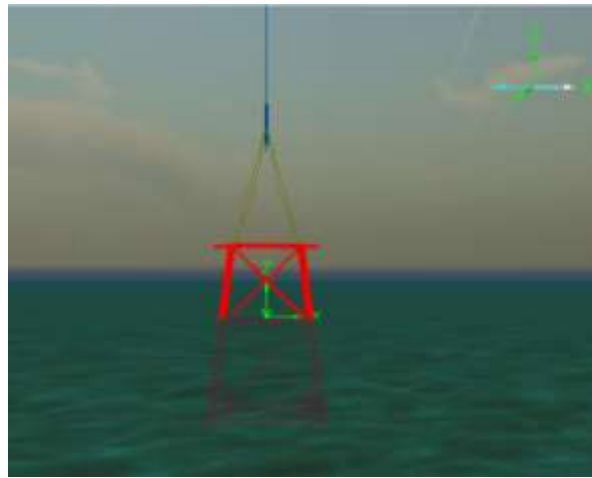
Gambar 4.17. Pemodelan *Initial COG* dan *COG Shift Jacket Stucture* dan *Sling* pada *Software SACS* Kondisi Struktur Utuh.



Gambar 4.18. Pemodelan *Initial COG* dan *COG Shift Jacket Stucture* dan *Sling* pada *Software SACS* Potongan Bawah.

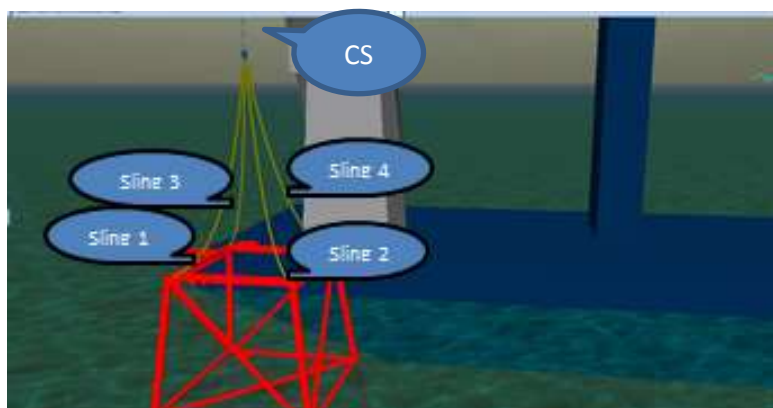
4.7 Pemodelan Pada *Software* Orcaflex.

Pemodelan pada *software* Orcaflex diawali dengan pemodelan struktur *Jacket* yang dimodelkan tiap membernya dengan 6D *buoy* berupa *Lumped buoy* yang memiliki volume, diameter, panjang, massa dan *moment inertia* seperti *member tubular* pada pemodelan di *software* SACS. Hal ini memungkinkan untuk mendapatkan hasil menyerupai bentuk nyatanya. Berikut merupakan model *Jacket* beserta tali *sling*nya pada *software* Orcaflex.



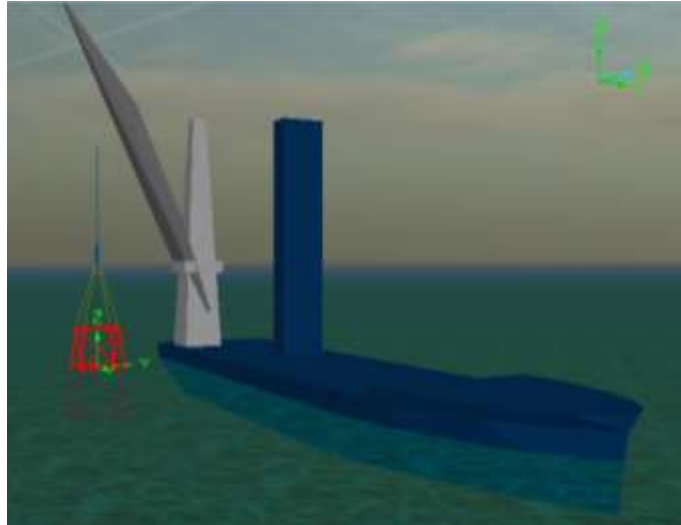
Gambar 4.19. Pemodelan *Jacket Structure* dan *Sling* pada *Software* Orcaflex

Gambar 4.16 merupakan gambar pemodelan *Jacket* Struktur Kondisi utuh pada *software* Orcaflex beserta *wire sling* dalam kondisi *splash zone* setengah bagian struktur tercelup dan setengah sisanya berada dipermukaan dengan jarak 15, 65 m dari MSL.



Gambar 4.20. Letak Konfigurasi Tali *Sling* pada *Software* Orcaflex

Gambar 4.17 merupakan keterangan letak penamaan *wire sling lifting* kondisi *splash zone* guna mengetahui detail peletakan dan penamaan *sling* agar memudahkan nantinya dalam penyajian hasil *tension sling* kondisi *splash zone*. *Wire sling* yang digunakan memiliki diameter 35 mm dan panjang yang berbeda-beda karena kondisi struktur *Jacket* yang tidak simetris menyebabkan COG tidak terletak pada titik 0,0 pada setiap sumbunya.



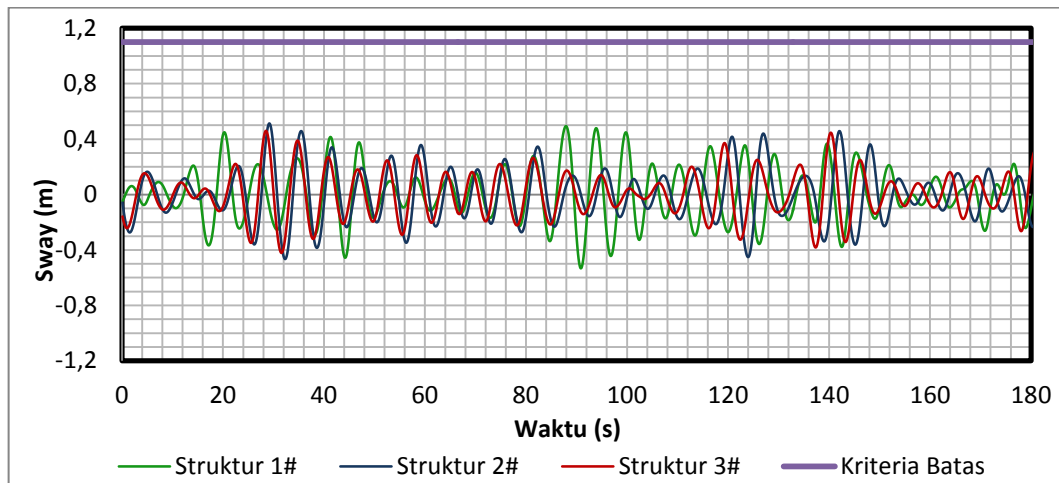
Gambar 4.21. Kondisi Pengangkatan Struktur *Jacket* oleh *Floating Crane* dengan *Software Orcaflex*.

Kondisi pengangkatan pada saat *Jacket* berada pada daerah *splash zone* ditunjukkan pada Gambar 4.18, dimana *Jacket* berada 40 m dari sisi paling ujung *beam* kapal, guna menjauhkan tabrakan antara struktur dan kapal.

4.8 Respons Gerakan Kapal dan Objek Akibat Gelombang Acak

Respon gerakan kapal hasil simulasi dinamis *time domain* dilakukan pada H_s 3,5 m, dan hanya dilakukan selama 5 menit atau 300 detik, karena terlalu banyak kasus dan membutuhkan waktu yang relatif lama, maka running hanya dilakukan untuk mendapat nilai *peak* sesuai dengan API RP 2 SK yang membolehkan simulasi dinamis selama minimal 200 detik, karena sudah dapat mewakili nilai *peak* yang diinginkan. Meskipun untuk lebih akuratnya simulasi dilakukan selama 3 jam untuk mewakili kondisi badai.

Namun pada penyajian data hanya diwakili selama 180 detik untuk menunjukkan osilasi gerakan yang jelas. Gambar 4.19 – merupakan rekaman gelombang acak yang dibangkitkan akibat gerakan benda yang diangkat, dari masing – masing *motion* dan *heading* :



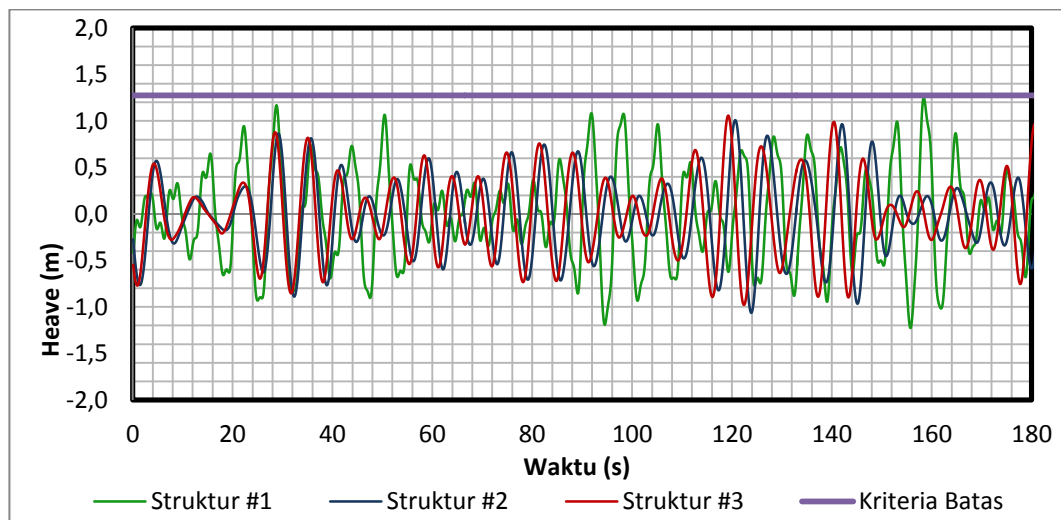
Gambar 4.22. Rekaman Gerakan *Sway* Akibat Gelombang Acak *Heading* 0°

Dari Rekamann diatas dapat dilihat bahwa Gerakan *sway* untuk arah propagasi 0° untuk konfigurasi ukuran potongan atas dan potongan bawah hampir sama. Hal ini dikarenakan berat dari kedua konfigurasi yang tidak terpaut jauh, sehingga gerakan *sway* yang terjadi pun hampir mirip. Gerakan *sway heading* 0° untuk kondisi struktur utuh lebih dominan, karena berat struktur yang diangkat sendiri 2 kali lipat dari kondisi yang lainnya, sehingga osilasi gerakan yang terjadi lebih tinggi. Hal ini juga dapat disajikan dalam bentuk *mean motion* dan RMS (*Root Mean Square*) dari hasil gerakan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. *Mean Motion*, RMS, *Maximum Motion* dan Frekuensi Gerakan *Sway Heading* 0°.

Arah Pembebanan		Kondisi Struktur yang diangkat		
		Struktur #1	Struktur #2	Struktur #2
Sudut 0°	<i>Mean Motion</i> (m)	0,0 273	0,0175	0,0172
	RMS (m)	0,2426	0,212	0,193
	<i>Maximum motion</i> (m)	0,5943	0,541	0,524
	Frekuensi (rad/s)	0,166	0,169	0,17

Mean motion grakan *sway heading 0°* pada semua variasi struktur nilainya mendekati 0. Nilai RMS dan *maximum motion* pada struktur perpotongan tidak terpaut jauh, namun nilai masimum frekuensi terletak pada frekuensi yang hampir sama, sehingga dapat dikatakan bahwa frekuensi pada pengangkatan struktur #2 dan #3 memiliki nilai frekuensi gerakan yang hampir mendekati dan struktur #1 yang cenderung lebih lambat dari kedua struktur yang lain dikarenakan frekuensi lebih kecil.



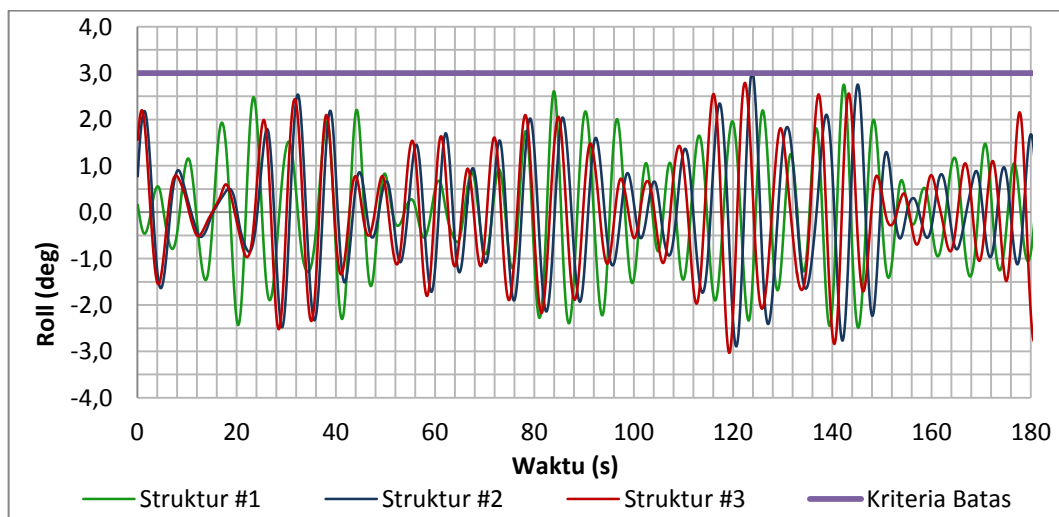
Gambar 4.23. Rekaman Gerakan *Heave* Akibat Gelombang Acak *Heading 0°*

Rekaman gerakan *heave* kapal akibat gelombang acak *heading 0°* ditunjukkan pada Gambar 4.23 dalam variasi ukuran struktur. Dari rekaman diatas dapat diketahui bahwa gerakan *heave* untuk semua kondisi struktur potongan atas dan potongan bawah hampir mirip, dan pada struktur kondisi utuh yang memiliki gerakan simpanganya lebih jauh. Karena gerakan *heave* merupakan gerakan translasi arah z, yang dipengaruhi oleh gaya berat struktur maka perbedaan kondisi pembebanan menyebabkan perbedaan simpangan pula akibat gelombang acak.. Hasil *mean motion*, RMS, *maximum motion* dan frekuensi dari gerakan *heave heading 0°* disajikan dalam Tabel 4.9 berikut :

Tabel 4.9. *Mean Motion*, *RMS*, *Maximum Motion* dan Frekuensi Gerakan *Heave* heading 0°.

Arah Pembebanan		Kondisi Struktur yang diangkat		
		Struktur #1	Struktur #2	Struktur #2
Sudut 0°	<i>Mean Motion</i> (m)	0,0 295	0,0137	0,0135
	<i>RMS</i> (m)	0,6126	0,539	0,523
	<i>Maximum Motion</i> (m)	1,2146	1,012	1,003
	Frekuensi (rad/s)	0,166	0,168	0,169

Mean motion gerakan *heave* heading 0° pada semua kondisi struktur memiliki harga positif dan hampir mendekati 0. Hal ini berarti antara gaya keatas dan pengembali kapal memiliki simpangan yang hampir sama, sehingga nilai *mean motion* mendekati 0. Untuk nilai *RMS* pada struktur #2 dan #3 memiliki harga yang hampir sama yang dapat dilihat pada hasil keseluruhan gerakan pada Gambar 4.23, dan memiliki nilai frekuensi gerakan yang hampir sama pula. Sedangkan struktur #1 memiliki nilai *maximum motion* terbesar dan frekuensi terendah dipengaruhi oleh besarnya struktur yang diangkat.



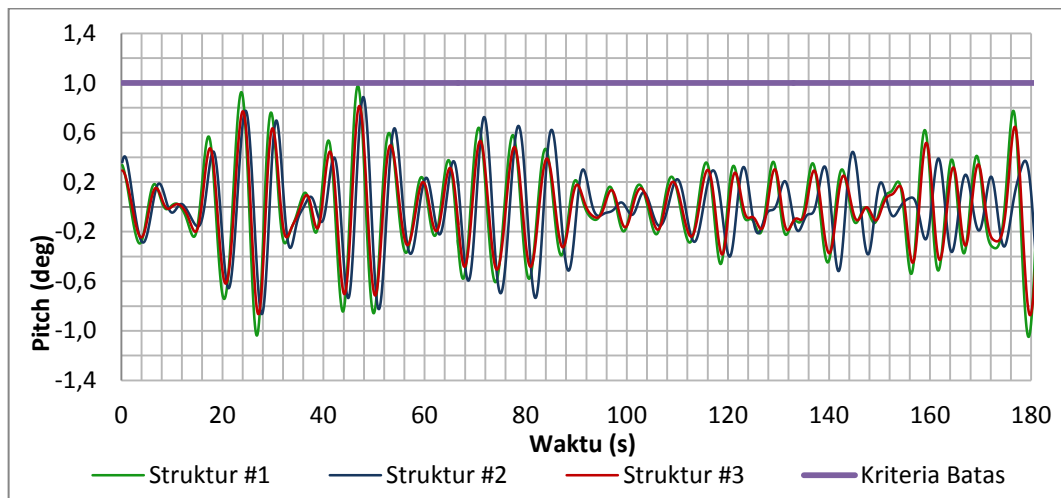
Gambar 4.24. Rekaman Gerakan *Roll* Akibat Gelombang Acak Heading 0°

Gerakan *roll* kapal akibat gelombang arah 0° memiliki nilai yang sangat signifikan untuk kondisi struktur utuh, terdapat gerakan pada detik ke 127 yang memiliki nilai *roll* lebih dari 3 deg, untuk dua kondisi dstruktur perpotongan memiliki nilai yang hampir mirip. Gerakan *roll* merupakan gerak rotasi pada sumbu-x yang disebabkan oleh gelombang acar yang tidak menentu dan menyebabkan pergerakan pada struktur, sehingga gaya kembali lagi mengenai kapal dan menyebabkan gaya yang kompleks. Hal ini juga akan mnyebabkan perbedaan letak titik berat kapal sehingga semakin jauh perubahan titik berat kapal, gerakan *roll* kapal akan semakin besar. Hasil *mean motion*, *RMS maximum motion* dan frekuensi pada kondisi ini ditunjukkan pada Tabel 4.10 :

Tabel 4.10. *Mean Motion, RMS, Maximum Motion dan Frekuensi Gerakan Roll heading 0° .*

Arah Pembebanan		Kondisi Struktur yang diangkat		
		Struktur #1	Struktur #2	Struktur #2
Sudut 0°	<i>Mean Motion</i> (deg)	0,148	0,0964	0,0926
	RMS (deg)	1,586	1,348	1,284
	<i>Maximum Motion</i> (deg)	2,989	2,879	2,874
	Frekuensi (rad/s)	0,166	0,168	0,169

Mean motion gerakan *roll heading 0°* pada semua kondisi struktur memiliki harga negatif dan hampir mendekati 0 kecuali struktur kondisi utuh. Untuk nilai RMS pada struktur potongan memiliki harga yang hampir sama pada struktur potongan, sedang struktur utuh memiliki nilai lebih besar dari struktur potongan karena massa struktur yang mempengaruhi pergeseran titik berat kapal yang menyebabkan gerakannya lebih signifikan.



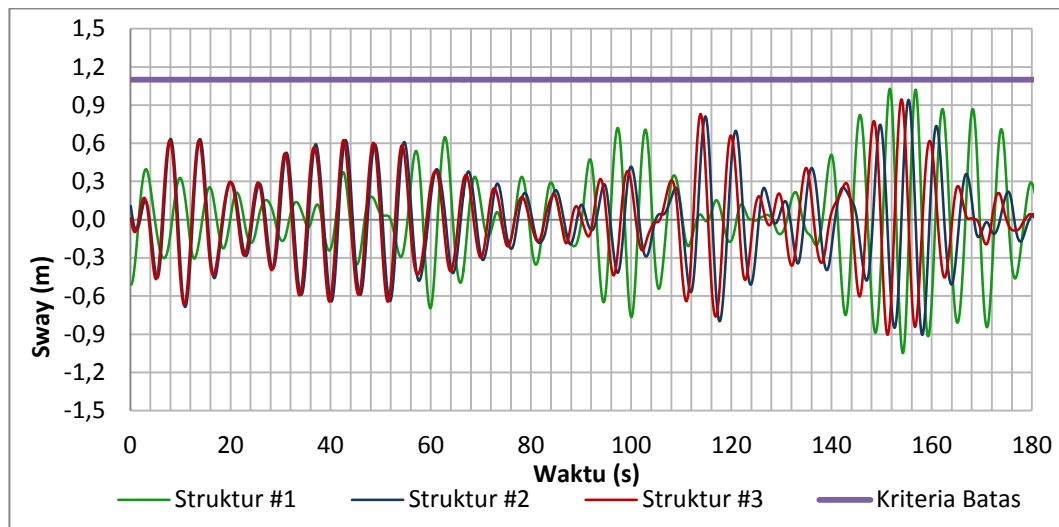
Gambar 4.25. Rekaman Gerakan *Pitch* Akibat Gelombang Acak *Heading* 0°

Garfik rekaman menunjukkan besar *motion pitch* kapal *heading* 0° tidak terlalu besar. Semua kondisi memiliki harga yang hampir mirip, namun tetap pada kondisi struktur utuh yang memiliki simpangan terbesar. Namun gerakan *pitch* tidak begitu signifikan, dan memiliki nilai kurang dari 1,5 degree. Nilai *mean motion* dan RMS dari gerakan ini disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11. *Mean Motion*, RMS, *Maximum Motion* dan Frekuensi Gerakan *Pitch heading* 0° .

Arah Pembebanan		Kondisi Struktur yang diangkat		
		Struktur #1	Struktur #2	Struktur #2
Sudut 0°	<i>Mean Motion</i> (deg)	0,036	0,015	0,012
	RMS (deg)	0,221	0,198	0,199
	<i>Maximum Motion</i> (deg)	0,998	0,989	0,986
	Frekuensi (rad/s)	0,17	0,17	0,17

Gerakan *pitch* akibat gelombang acsk *heading* 0° mengakibatkan nilai *nean motion* mendekati 0 dan bernilai positif, hal ini berarti gaya *bouyancy* kapal yang lebih dominan akibat pebgaruh gelombang acak. Nilai RMS hampir merata dan frekuensi yang sama pada tiap variasi beban pengangkatan struktur.



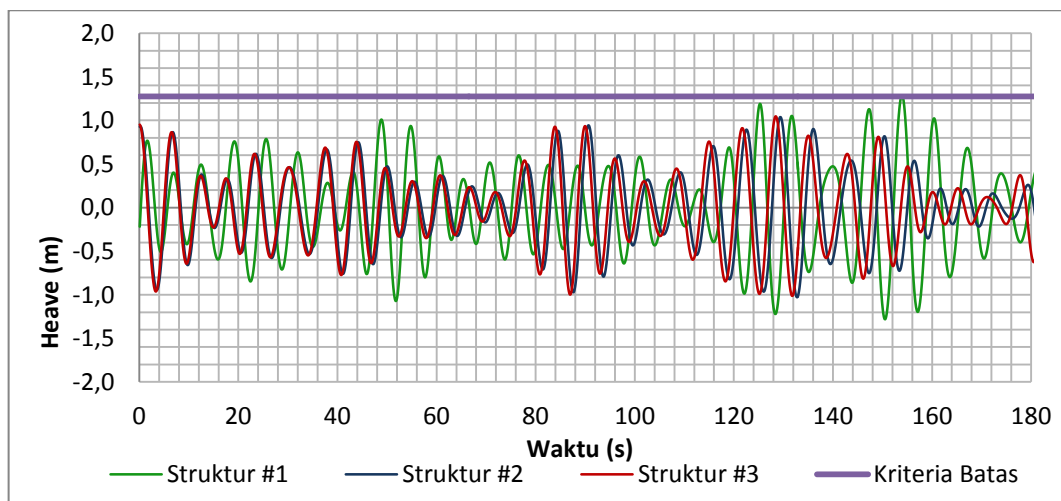
Gambar 4.26. Rekaman Gerakan Sway Akibat Gelombang Acak *Heading* 45°

Dari Rekamann diatas dapat dilihat bahwa Gerakan sway untuk arah *heading* 45° untuk konfigurasi ukuran potongan atas dan potongan bawah hampir sama. Hal ini dikarenakan berat dari kedua konfigurasi yang tidak terpaut jauh, sehingga gerakan sway yang terjadi pun hampir mirip. Gerakan sway *heading* 45° lebih besar dibandingkan dengan arah 0°. untuk kondisi struktur utuh lebih dominan, karena berat struktur yang diangkat sendiri 2 kali lipat dari kondisi yang lainnya, sehingga osilasi gerakan yang terjadi lebih tinggi. Hal ini juga dapat disajikan dalam bentuk *Mean Motion*, *RMS (Root Mean Square)*, *maximum motion* dan frekuensi dari hasil gerakan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12. *Mean Motion*, *RMS*, *Maximum Motion* dan Frekuensi Gerakan Sway *heading* 45°.

Arah Pembebanan		Kondisi Struktur yang diangkat		
		Struktur #1	Struktur #2	Struktur #2
Sudut 45°	<i>Mean Motion</i> (m)	0,0462	0,0249	0,0237
	<i>RMS</i> (m)	0,426	0,312	0,293
	<i>Maximum Motion</i> (m)	0,893	0,836	0,828
	Frekuensi (rad/s)	0,167	0,17	0,171

Nilai *mean motion* gerakan *sway heading* 45° pada semua ukuran struktur memiliki nilai negatif mendekati nol, yang berarti gaya pengembali kapal yang hampir sama besar dengan gaya yang mengenainya. Sedangkan nilai RMS-nya lebih besar bila dibandingkan gerakan *sway heading* 0° . Hal ini dikarenakan *heading* 45° mengenai struktur dan kapal, sedangkan *heading* 0° hanya mengenai kapal saja. Hal ini menyebabkan pergerakan pada struktur yang diangkat sehingga menyebabkan pula pergerakan kapal karena pengaruh gaya pergerakan struktur ditambah gelombang acak. Sehingga nilai gerakan *Sway heading* 45° lebih besar dari *heading* 0° . Nilai frekuensi gerakan pada pengangkatan struktur #2 dan #3 hampir memiliki nilai yang sama.



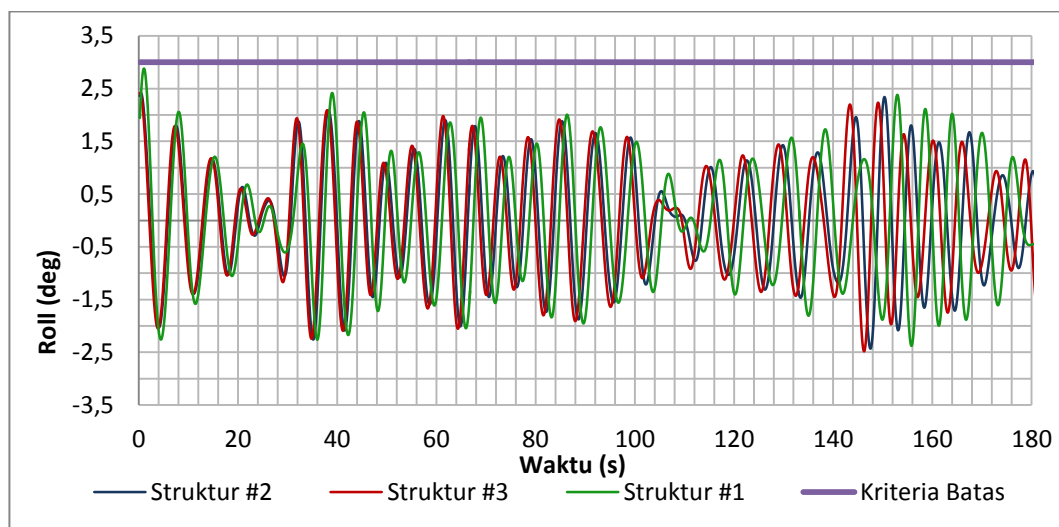
Gambar 4.27. Rekaman Gerakan *Heave* Akibat Gelombang Acak *Heading* 45°

Rekaman gerakan *heave* kapal akibat gelombang acak *heading* 45° ditunjukkan pada Gambar 4.27 dalam variasi ukuran struktur. Dari rekaman diatas dapat diketahui bahwa gerakan *heave* untuk semua kondisi struktur potongan atas dan potongan bawah hampir mirip, dan memiliki harga yang hampir mirip dengan *heading* 0° karena gerakan *heave* merupakan gerakan translasi arah-z yang hanya dominan dipengaruhi oleh berat struktur yang diangkat. Pada struktur kondisi utuh yang memiliki gerak simpangan terjauh. Hasil *mean motion*, RMS, *maximum motion* dan frekuensi dari gerakan *heave heading* 45° disajikan dalam Tabel 4.13 berikut :

Tabel 4.13. *Mean Motion, RMS, Maximum Motion dan Frekuensi Gerakan Heave heading 45°.*

Arah Pembebanan		Kondisi Struktur yang diangkat		
		Struktur #1	Struktur #2	Struktur #3
Sudut 45°	<i>Mean Motion</i> (m)	0,098	0,064	0,059
	RMS (m)	0,651	0,449	0,426
	<i>Maximum Motion</i> (m)	1,248	1,068	1,049
	Frekuensi (rad/s)	0,168	0,13	0,172

Mean motion gerakan *heave* heading 45° pada semua kondisi struktur utuh memiliki harga negatif sedangkan dua struktur yang terpotong memiliki nilai positif, hal ini menunjukkan bahwa massa struktur yang diangkat mempengaruhi gerak pengembali kapal. Nilai RMS gerakan *heave* heading 45° nilainya sedikit lebih besar bila dibanding heading 0°.



Gambar 4.28. Rekaman Gerakan *Roll* Akibat Gelombang Acak Heading 45°

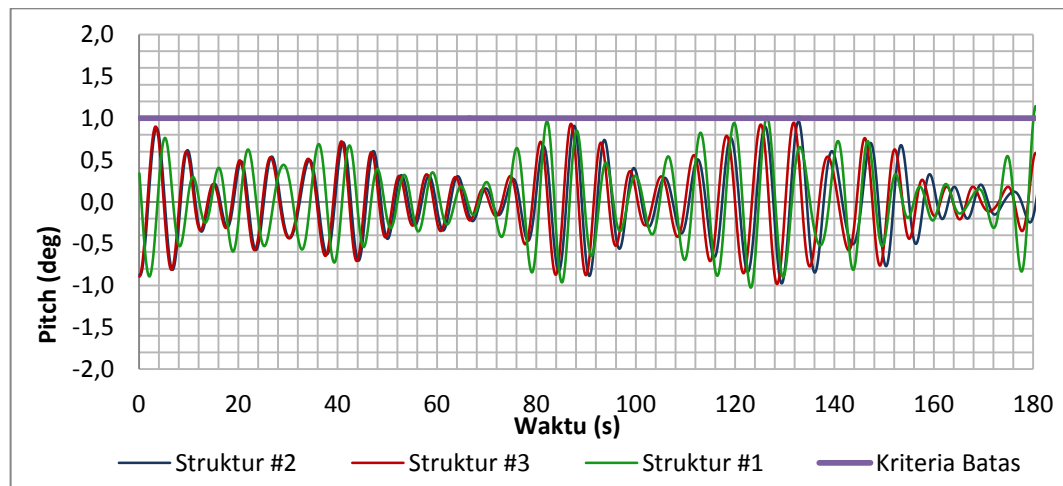
Gerakan *roll* kapal akibat gelombang heading 45° memiliki nilai yang cukup besar bila dibanding *roll* kapal akibat gelombang heading 0°. Hal ini disebabkan heading 45° mulaimengarah pada struktur dan kapal, sehingga gerakan struktur dan gaya berat struktur mempengaruhi pergerakan *roll* kapal Hasil *mean motion*, RMS

maximum motion dan frekuensi dari gerakan pada kondisi ini ditunjukkan pada Tabel 4.14 :

Tabel 4.14. *Mean Motion, RMS, Maximum Motion dan Frekuensi Gerakan Roll heading 45°.*

Arah Pembebanan		Kondisi Struktur yang diangkat		
		Struktur #1	Struktur #2	Struktur #3
Sudut 45°	<i>Mean Motion</i> (deg)	0,236	0,196	0,187
	RMS (deg)	1,899	1,524	1,518
	<i>Maximum Motion</i> (deg)	2,952	2,437	2,386
	Frekuensi (rad/s)	0,167	0,169	0,17

Mean motion gerakan roll heading 45° pada semua kondisi struktur memiliki harga mendekati 0. Hal ini berarti gaya pengembali kapal lebih besar dari pada gaya gelombang acak yang mengenainya. Untuk nilai RMS dan *maximum motion* pada struktur potongan memiliki harga yang hampir sama dan tetap yang lebih dominan pada kondisi struktur utuh.



Gambar 4.29. Rekaman Gerakan *Pitch* Akibat Gelombang Acak Heading 45°

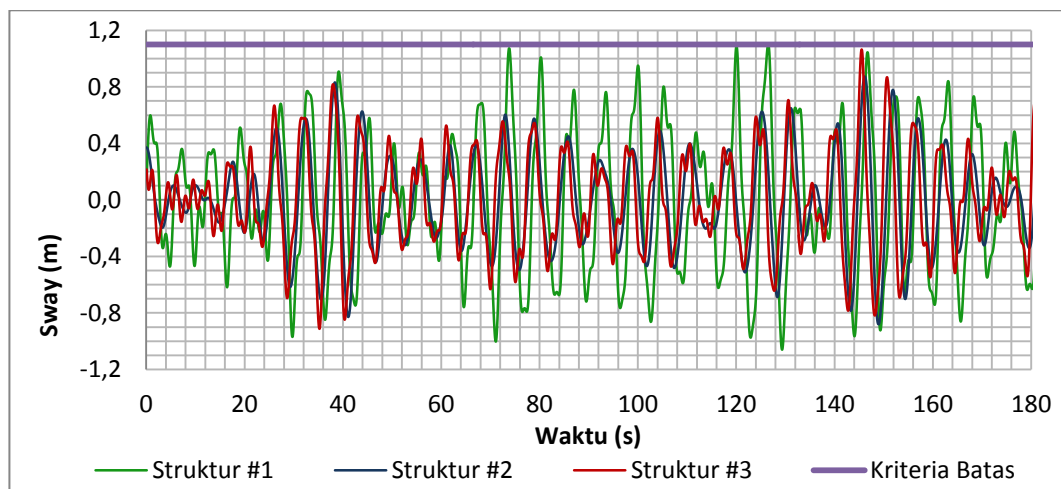
Grafik rekaman menunjukkan besar *motion pitch* kapal heading 45° tidak terlalu besar. Semua kondisi memiliki harga yang hampir mirip, namun tetap pada kondisi struktur utuh yang memiliki simpangan terbesar. Namun gerakan pitch tidak

begitu signifikan, dan memiliki nilai kurang dari 1,5 degree. Nilai *mean motion*, RMS *maximum motion* dan frekuensi dari gerakan ini disajikan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15. *Mean Motion*, RMS, *Maximum Motion* dan Frekuensi Gerakan *Pitch heading 45°*.

Arah Pembebanan		Kondisi Struktur yang diangkat		
		Struktur #1	Struktur #2	Struktur #3
Sudut 45°	Mean Motion (deg)	0,049	0,025	0,021
	RMS (deg)	0,342	0,284	0,278
	<i>Maximum Motion</i> (deg)	0,994	0,879	0,862
	Frekuensi (rad/s)	0,168	0,169	0,169

Gerakan pitch akibat gelombang acak *heading 45°* mengakibatkan nilai *mean motion* mendekati 0 dan bernilai positif. Dan nilai RMS dan frekuensi gerakan hampir merata karena tidak terlalu signifikan perbedaannya.



Gambar 4.30. Rekaman Gerakan *Sway* Akibat Gelombang Acak *Heading 90°*

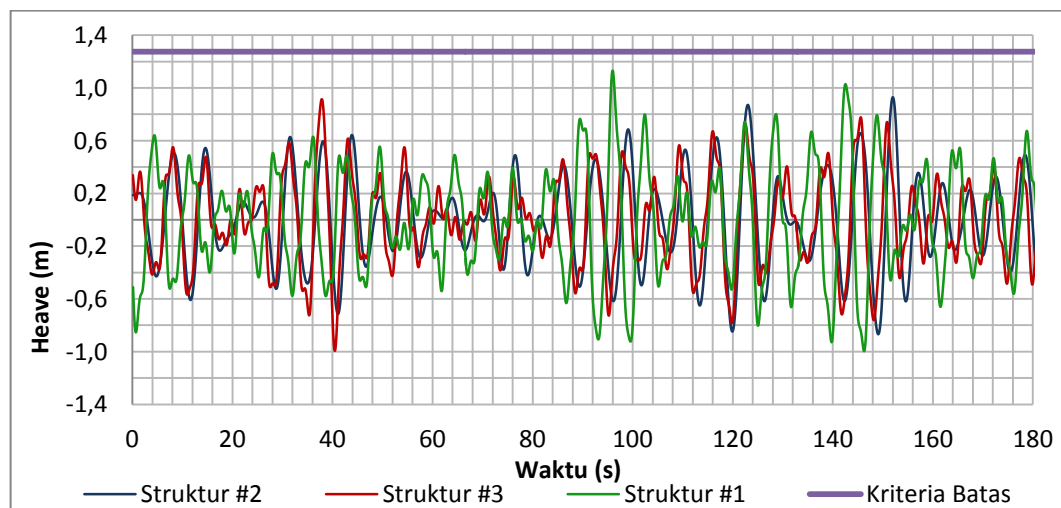
Gerakan *sway* pada *heading 90°* tiap kondisi struktur pada gambar 4.30 merupakan respon kapal akibat proses pengangkatan dan gelombang acak yang mengenai pada arah tegak lurus hull kapal (*port side*), oleh sebab itu, gerakan *sway* yang dihasilkan lebih signifikan dibanding gerakan pada *heading* sebelumnya. Gerakan *sway* yang merupakan gerak translasi sumbu-y gelombang sisi (*heading 90°*) yang mengarah pada sumbu-y negatif (*stadboard*) menyebabkan benda yang diangkat

bergerak lebih ekstrim sehingga menghasilkan gerakan *sway* yang paling dominan dari semua arah *heading*. Dari data *time domain* didapatkan nilai *mean motion*, RMS *maximum motion* dan frekuensi pada Tabel 4.16 :

Tabel 4.16. *Mean Motion*, RMS, *Maximum Motion* dan Frekuensi Gerakan *Sway* *heading* 90°.

Arah Pembebanan		Kondisi Struktur yang diangkat		
		Struktur #1	Struktur #2	Struktur #3
Sudut 90°	<i>Mean Motion</i> (m)	0,145	0,098	0,096
	RMS (m)	0,747	0,534	0,521
	<i>Maximum Motion</i> (m)	1,086	1,048	1,027
	Frekuensi (rad/s)	0,165	0,155	0,15

Pada gerakan *sway heading* 90°, nilai *mean motion* pada semua ukuran struktur memiliki nilai negatif, sehingga menyebabkan gerakan kapal dominan menjauhi struktur, dan memungkinkan terjadi gerakan yang cukup ekstrim. Sedangkan nilai RMS lebih dominan bila dibanding dengan gerakan lainnya, karena merupakan rata – rata gerakan, sehingga menjadi acuan RMS maksimum. Untuk nilai frekuensi tidak ada yang memiliki nilai yang sama.



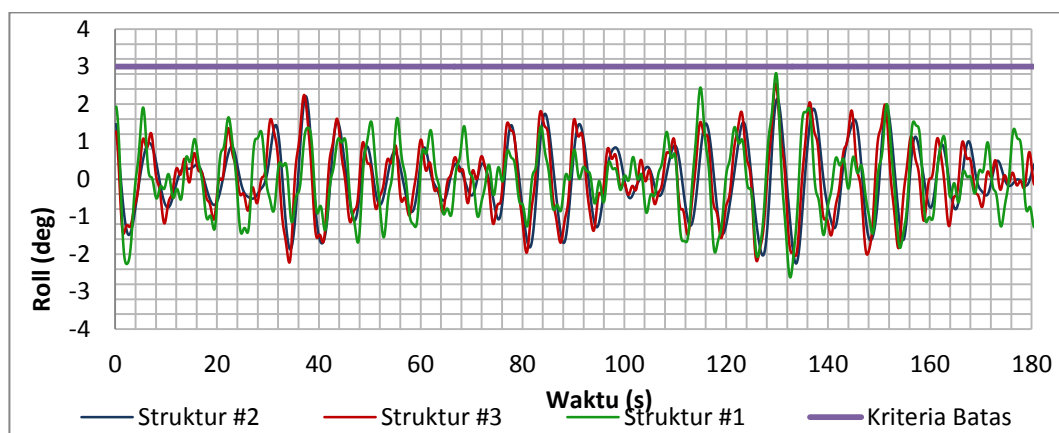
Gambar 4.31. Rekaman Gerakan *Heave* Akibat Gelombang Acak *Heading* 90°

Gerakan *heave* kapal akibat gelombang acak *heading* 90° ditunjukkan pada Gambar 4.31 dalam variasi ukuran struktur. Dari rekaman diatas dapat diketahui bahwa gerakan *heave* untuk semua kondisi struktur potongan atas dan potongan bawah sekilas memiliki kemiripan. Nilai hasil pembebanan arah 90 ° memiliki nilai yang lebih tinggi bila dibanding *heading* yang lain. Karena memang *heading* ini merupakan pembebanan paling ekstrim dalam proses lifting. Hasil *mean motion*, RMS, *maximum motion* dan frekuensi dari gerakan *heave heading* 0° disajikan dalam Tabel 4.17 berikut :

Tabel 4.17. *Mean Motion*, RMS, *Maximum Motion* dan Frekuensi Gerakan *Heave heading* 90°.

Arah Pembebanan		Kondisi Struktur yang diangkat		
		Struktur #1	Struktur #2	Struktur #3
Sudut 45°	<i>Mean Motion</i> (m)	0,118	0,084	0,079
	RMS (m)	0,681	0,649	0,626
	<i>Maximum Motion</i> (m)	1,197	0,955	0,99
	Frekuensi (rad/s)	0,174	0,167	0,166

Nilai *mean motion* gerakan *heave heading* 90° pada semua kondisi struktur memiliki harga positif ini berarti gerakan akibat gelombang acak yang lebih dominan daripada gaya pengembali kapal. Nilai RMS gerakan *heave heading* 90° didapati merupakan nilai RMS gerakan *heave* paling besar.



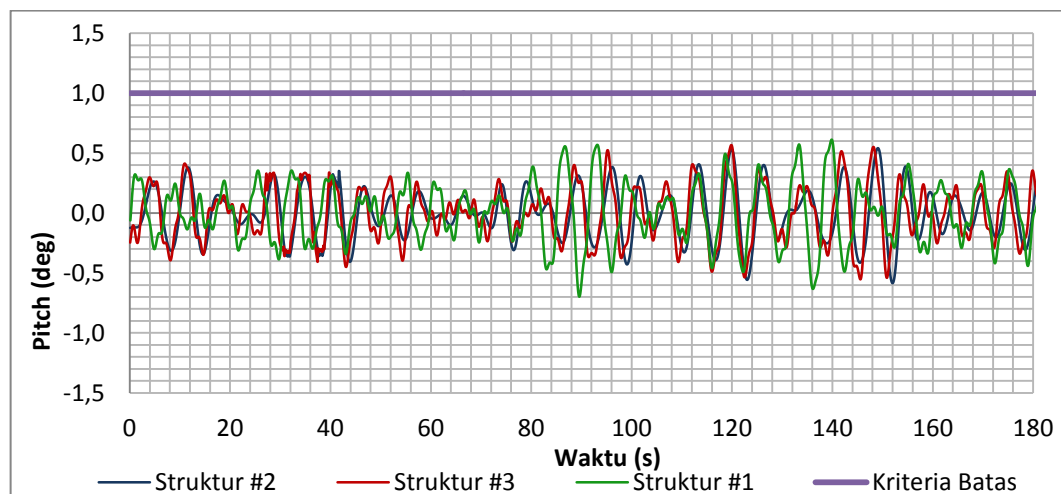
Gambar 4.32. Rekaman Gerakan *Roll* Akibat Gelombang Acak *Heading* 90°

Gerakan *roll* akibat gelombang acak *heading* 90° pada struktur yang terpotong bagian atas dan bagian bawah memiliki nilai yang hampir mirip satu sama lain. Namun pada struktur utuh terlihat lebih besar simpangan pada sebagian besar domain waktu. Gerakan *roll* paling ekstrim terjadi di detik ke 134 yang terjadi pada kondisi struktur utuh.

Tabel 4.18. *Mean Motion, RMS, Maximum Motion dan Frekuensi Gerakan Roll heading 90°.*

Arah Pembebanan		Kondisi Struktur yang diangkat		
		Struktur #1	Struktur #2	Struktur #3
Sudut 90°	<i>Mean Motion</i> (deg)	0,316	0,218	0,205
	RMS (deg)	1,92	1,642	1,618
	<i>Maximum Motion</i> (deg)	2,964	2,575	2.489
	Frekuensi (rad/s)	0,169	0,152	0,15

Mean motion gerakan *roll* *heading* 90° pada semua kondisi struktur memiliki harga positif mengarah pada gaya *bouyancy* kapal akibat gelombang acak. Untuk nilai RMS pada struktur potongan memiliki harga yang hampir sama dan tetap yang lebih dominan pada kondisi struktur utuh.



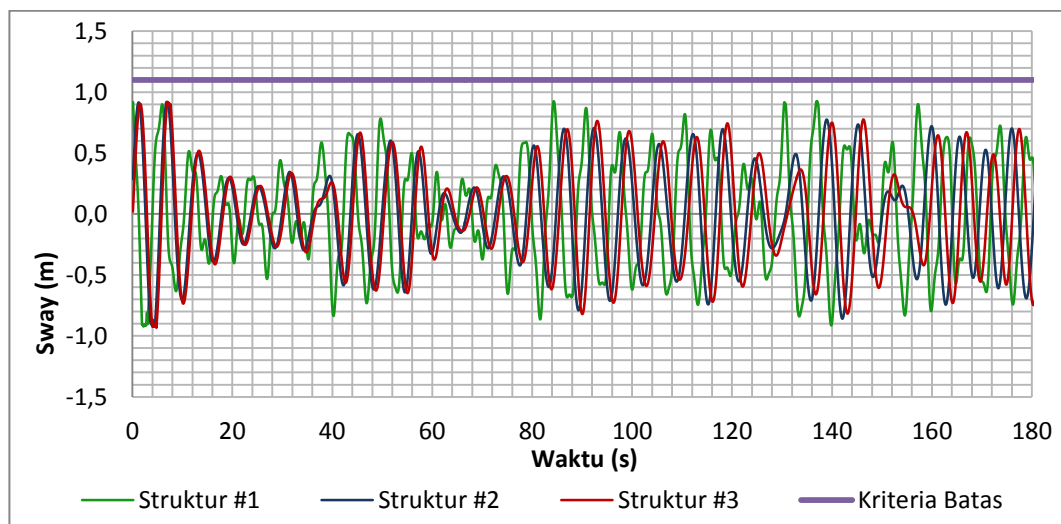
Gambar 4.33. Rekaman Gerakan *Pitch* Akibat Gelombang Acak *Heading* 90°

Garfik rekaman menunjukkan besar *motion pitch* kapal *heading* 90° memiliki rata- rata nilai kurang dari 1 *degree*. Semua kondisi memiliki harga yang hampir mirip, namun tetap pada kondisi struktur utuh yang memiliki simpangan terbesar. Namun gerakan pitch tidak begitu signifikan, dan memiliki nilai kurang dari 1,5 *degree*. Nilai *mean motion*, RMS, *maximum motion* dan frekuensi dari gerakan ini disajikan pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19. *Mean Motion*, RMS, *Maximum Motion* dan Frekuensi Gerakan *Pitch heading* 90°.

Arah Pembebanan		Kondisi Struktur yang diangkat		
		Struktur #1	Struktur #2	Struktur #3
Sudut 45°	Mean Motion (deg)	0,078	0,063	0,054
	RMS (deg)	0,274	0,191	0,183
	<i>Maximum Motion</i> (deg)	0,615	0,587	0,542
	Frekuensi (rad/s)	0,13	0,134	0,135

Gerakan pitch akibat gelombang acak *heading* 90° mengakibatkan nilai *mean motion* mendekati 0 dan bernilai positif. Sedangkan nilai RMS memiliki rata terkecil dibanding *heading* yang lainnya.



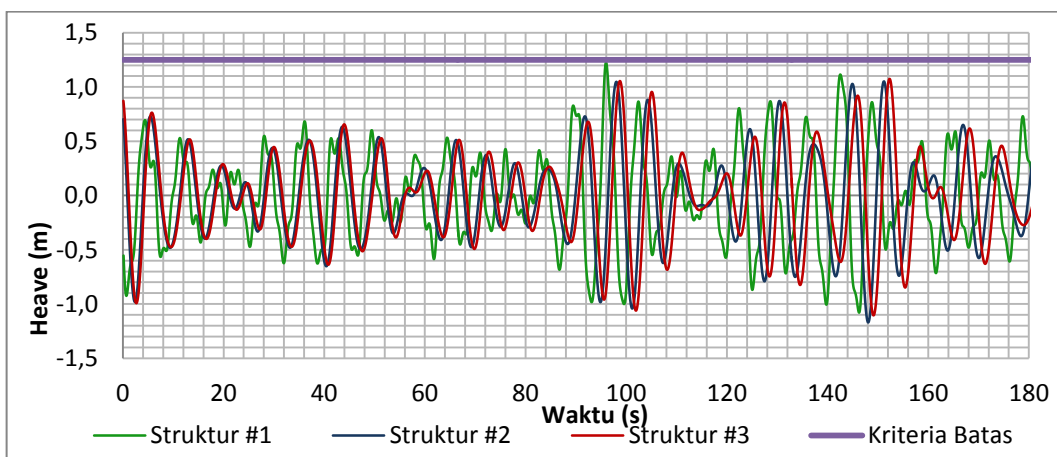
Gambar 4.34. Rekaman Gerakan Sway Akibat Gelombang Acak *Heading* 135°

Garfik *sway* kapal *heading* 135° memiliki rata- rata nilai kurang dari 1.0 m. Pada kondisi ini gelombang acak arah perempat haluan (*heading* 135°) nilai gerakan *sway* kondisi struktur perpotongan atas dan bawah memiliki harga simpangan yang identik. Hal ini disebabkan posisi *crane vessel* yang terletak pada buritan kapal, sehingga respon yang dihasilkan bernilai kecil. Gerakan *sway* pada kondisi struktur utuh juga tidak begitu signifikan nilainya, namun memiliki nilai yang lebih besar bila dibandingkan dengan perpotongan struktur yang lain. Nilai *mean motion*, RMS, *maximum motion* dan frekuensi dari gerakan ini disajikan pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20. *Mean Motion*, RMS, *Maximum Motion* dan Frekuensi *Sway* Kapal *Heading* 135° .

Arah Pembebanan		Kondisi Struktur yang diangkat		
		Struktur #1	Struktur #2	Struktur #3
Sudut 135°	<i>Mean Motion</i> (m)	0,0562	0,0343	0,0356
	RMS (m)	0,541	0,436	0,452
	<i>Maximum Motion</i> (m)	0,972	0,953	0,965
	Frekuensi (rad/s)	0,16	0,162	0,163

Nilai *mean motion* untuk gerakan *sway heading* 135° memiliki harga yang mendekati 0, Sedangkan nilai RMS nya merupakan nilai rata rata terkecil dari gerakan *sway* dibandingkan *heading* lainnya. Sedangkan frekuensi tiap kondisi pembebanan struktur memiliki nilai yang hampir sama.



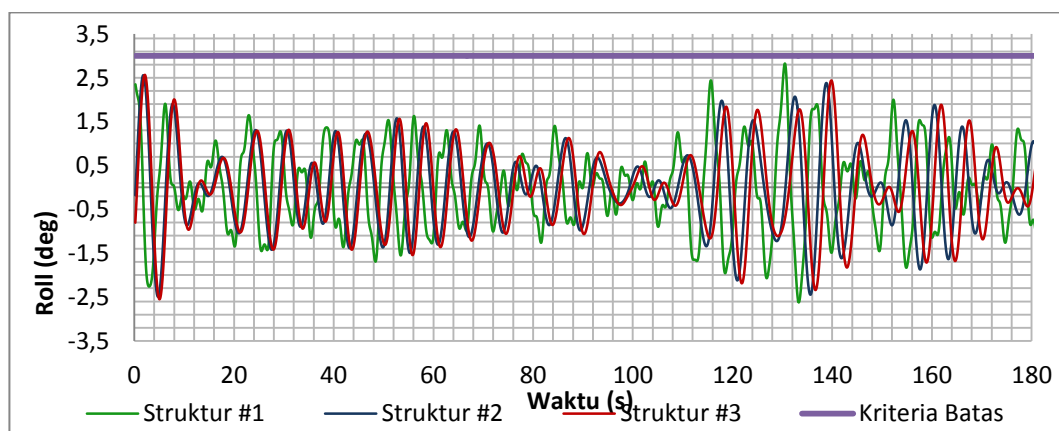
Gambar 4.35. Rekaman Gerakan *Heave* Akibat Gelombang Acak *Heading* 135°

Rekaman gerakan *heave* kapal akibat gelombang acak *heading* 135° ditunjukkan pada Gambar 4.35 dalam variasi ukuran struktur. Dari rekaman diatas dapat diketahui bahwa gerakan *heave* untuk kondisi struktur potongan atas dan bawah hampir sama. Kondisi utuh memiliki gerak simpangan lebih jauh dan gerakan yang sama cepatnya namun grafik struktur utuh lebih dahulu bergerak dari pada struktur potongan dilihat dari periode pengangkatan struktur utuh yang lebih geser ke kiri. Hasil *mean motion*, RMS, *maximum motion* dan frekuensi dari gerakan *heave heading* 135° disajikan dalam Tabel 4.21 berikut:

Tabel 4.21. *Mean Motion*, RMS, *Maximum Motion* dan Frekuensi Gerakan *Heave heading* 135°.

Arah Pembebanan		Kondisi Struktur yang diangkat		
		Struktur #1	Struktur #2	Struktur #3
Sudut 135°	<i>Mean Motion</i> (m)	0,051	0,027	0,034
	RMS (m)	0,626	0,434	0,415
	<i>Maximum Motion</i> (m)	1,242	1,061	1,038
	Frekuensi (rad/s)	0,162	0,164	0,165

Mean motion gerakan *heave heading* 135° pada semua kondisi struktur utuh memiliki harga mendekati 0, Nilai *maximum motion* untuk struktur utuh hampir mendekati batas kriteria, sedang struktur potongan terpaut jauh. Untuk frekuensi semua kondisi memiliki nilai yang hampir sama.



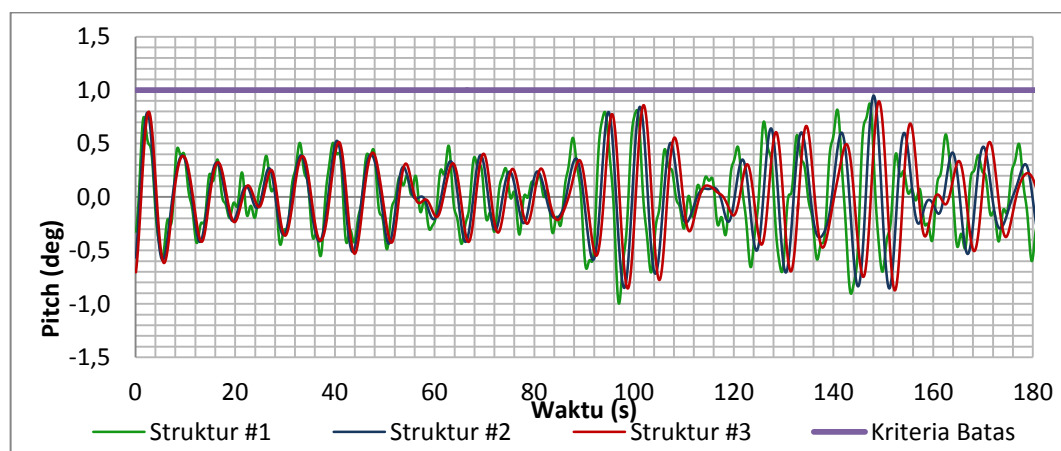
Gambar 4.36. Rekaman Gerakan *Roll* gelombang Acak *Heading* 135°

Grafik gerakan *roll heading* 135° hampir memiliki nilai yang identik pada setiap variasi ukuran. Selain pengaruh letak *crane vessel* dan struktur pada bagian buritan, hal yang menyebabkan gerakan *roll* bernilai rendah adalah massa struktur yang diangkat memiliki perbandingan yang jauh lebih kecil bila dibanding kapal.. gerakan *roll heading* 135° memiliki nilai kurang dari 3 *degree* yang merupakan nilai gerakan *roll* yang sangat rendah bbila dibanding arah lain. Nilai *mean motion*, RMS, *maximum motion* dan frekuensi dari gerakan ini disajikan pada Tabel 4.22:

Tabel 4.22. *Mean Motion*, RMS, *Maximum Motion* dan Frekuensi *Roll Kapal Heading* 135° .

Arah Pembebanan		Kondisi Struktur yang diangkat		
		Struktur #1	Struktur #2	Struktur #3
Sudut 135°	<i>Mean Motion</i> (deg)	0,215	0,187	0,178
	RMS (deg)	1,825	1,497	1,483
	<i>Maximum Motion</i> (deg)	2,952	2,537	2,546
	Frekuensi (rad/s)	0,186	0,182	0,183

Nilai *mean motion* untuk gerakan *roll heading* 135° memiliki harga yang mendekati 0, hal ini mnunjukkan gaya gelombang acak arah haluan (*heading* 135°) tidak berpengaruh besar terhadap kapal dan kapal tetap memiliki gaya pengembali yang lebih dominan. Nilai *maximum motion* untuk gerakan *roll heading* 135° tidak sampai 2,5 *degree*.



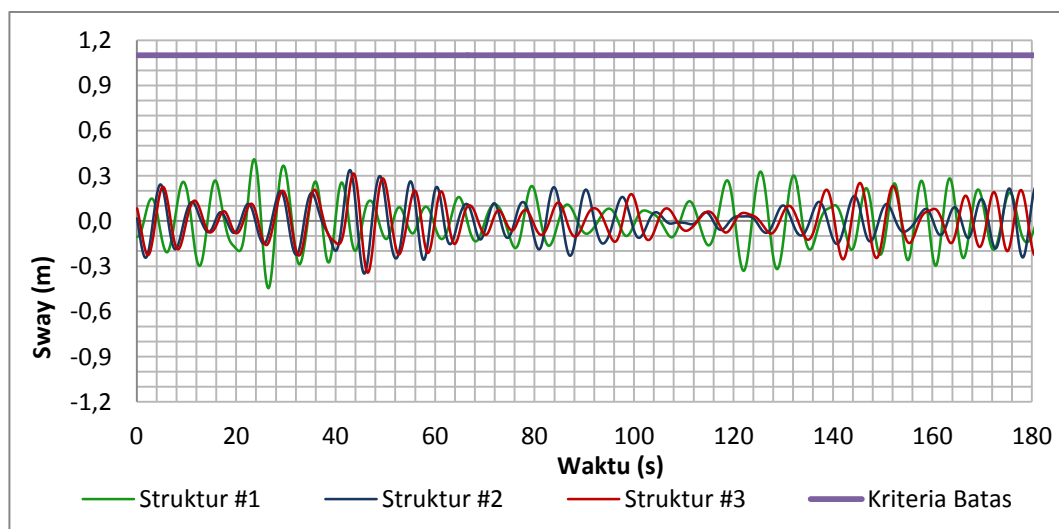
Gambar 4.37. Rekaman Gerakan *Pitch* gelombang Acak *Heading* 135°

Gerakan *pitch* kapal *heading* 135° akibat gelombang acak pada Gambar 4.37 memiliki nilai yang relatif seragam untuk tiap kondisi pembebanan struktur, meski pada periode tertentu kondisi pengangkatan struktur utuh tetap lebih dominan. Hasil *mean motion*, RMS, *maximum motion* dan frekuensi dari gerakan *pitch* kapal *heading* 135° pada Tabel 4.23 :

Tabel 4.23. *Mean Motion Dan RMS Pitch Kapal Heading 135°.*

Arah Pembebanan		Kondisi Struktur yang diangkat		
		Struktur #1	Struktur #2	Struktur #3
Sudut 135°	<i>Mean Motion</i> (deg)	0,063	0,015	0,013
	RMS (deg)	0,412	0,354	0,358
	<i>Maximum Motion</i> (deg)	0,944	0,883	0,892
	Frekuensi (rad/s)	0,16	0,162	0,163

Mean motion untuk gerakan *pitch heading* 135° memiliki harga yang mendekati 0 dikarenakan gelombang acak yang mengenai badan kapal dan gaya pengembali kapal tersebut. Sedangkan nilai RMS nya grakan ini merupakan nilai rata- rata paling tinggi bila dibandingkan dengan *heading* sebelumnya.



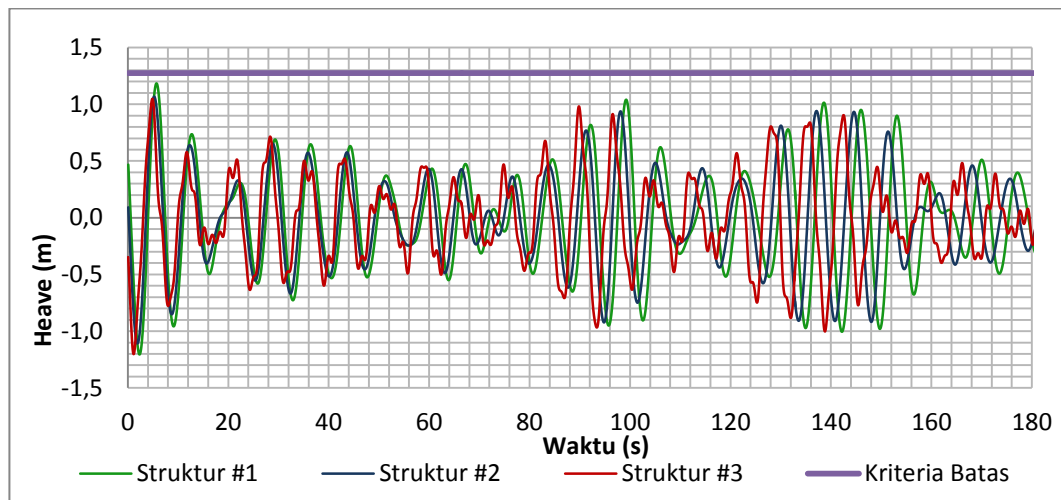
Gambar 4.38. Rekaman Gerakan *Sway* Akibat Gelombang Acak *Heading* 180°

Grafik *sway* kapal *heading* 180° memiliki rata- rata nilai kurang dari 0,5 m. Kondisi perpotongan atas dan bawah memiliki harga yang identik memiliki harga yang hampir mirip. Pada kondisi ini gelombang acak arah haluan (*heading* 180°) nilai gerakan *sway* untuk tiap kondisi pembebanan struktur potongan memiliki nilai yang tidak begitu signifikan. Hal ini disebabkan posisi *crane vessel* yang terletak pada buritan kapal, sehingga respon yang dihasilkan bernilai kecil. Gerakan *sway* pada kondisi struktur utuh juga idak begitu signifikan nilainya, namun memiliki nilai yang sebih besar bila dibandingkan dengan perpotongan struktur yang lain. Nilai *mean motion*, RMS, *maximum motion* dan frekuensi dari gerakan ini disajikan pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24. *Mean Motion*, RMS, *Maximum Motion* dan Frekuensi *Sway* Kapal *Heading* 180° .

Arah Pembebanan		Kondisi Struktur yang diangkat		
		Struktur #1	Struktur #2	Struktur #3
Sudut 180°	<i>Mean Motion</i> (m)	0,078	0,063	0,054
	RMS (m)	0,194	0,133	0,127
	<i>Maximum Motion</i> (m)	0,459	0,347	0,338
	Frekuensi (rad/s)	0,13	0,134	0,135

Nilai *mean motion* untuk gerakan *sway heading* 180° memiliki harga yang mendekati 0, hal ini mnunjukkan gaya gelombang acak arah haluan (*heading* 180°) tidak berpengaruh besar terhadap kapal dan kapal tetap memiliki gaya pengembali yang lebih dominan. Sedangkan nilai RMS nya merupakan nilai rata rata terkecil dari gerakan *sway* dibandingkan *heading* lainnya.



Gambar 4.39. Rekaman Gerakan *Heave* Akibat Gelombang Acak *Heading* 180°.

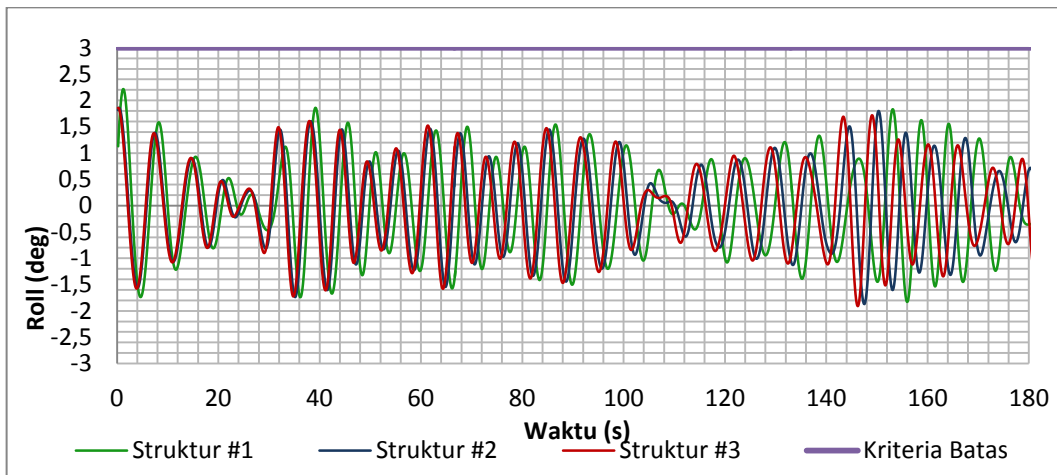
Garfik *heave* kapal *heading* 180° memiliki rata- rata nilai sangat kecil kurang dari 1 m. Semua kondisi sekilas memiliki harga yang hampir mirip meski tetap struktur kondisi utuh yang gerakannya sedikit lebih dominan. Sama halnya dengan gerakan *sway*,gerakan *heave* yang merupakan gerakan translasi sumbu-*z* dan karena struktur yang diangkat memiliki beban yang tidak terlalu besar dan terletak pada posisi sebaliknya (buritan kapal) dari arah *heading* 180°. Nilai *mean motion*, *RMS*, *maximum motion* dan frekuensi dari gerakan ini disajikan pada Tabel 4.25 :

Tabel 4.25. *Mean Motion*, *RMS*, *Maximum Motion* dan Frekuensi *heave* Kapal *Heading* 180° .

Arah Pembebanan		Kondisi Struktur yang diangkat		
		Struktur #1	Struktur #2	Struktur #3
Sudut 180°	<i>Mean Motion</i> (m)	0,005	0,0013	0,0016
	<i>RMS</i> (m)	0,448	0,319	0,327
	<i>Maximum Motion</i> (m)	1,216	1,039	1,037
	Frekuensi (rad/s)	0,163	0,13	0,129

Nilai *mean motion* untuk gerakan *heave heading* 180° memiliki harga positif yang mendekati 0, hal ini mnunjukkan gaya gelombang acak arah haluan (*heading* 180°) tidak berpengaruh besar terhadap kapal dan kapal tetap memiliki gaya pengembali yang lebih dominan. Sedangkan nilai *RMS* nya juga merupakan nilai rata-

rata paling rendah bila dibandingkan dengan *heading* sebelumnya. Nilai *Maximum Motion* tidak melebihi batas kriteria, sehingga masih dalam kondisi *oprable*.



Gambar 4.40. Rekaman Gerakan *Roll* gelombang Acak *Heading* 180°

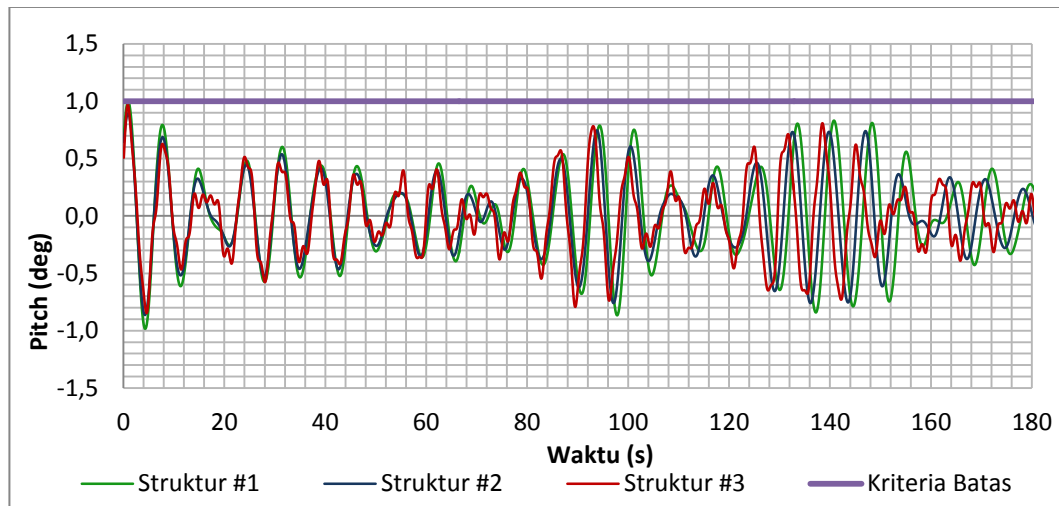
Grafik gerakan *roll heading* 180° hampir memiliki nilai yang identik pada setiap variasi ukuran. Selain pengaruh letak *crane vessel* dan struktur pada bagian buritan, hal yang menyebabkan gerakan *roll* bernilai rendah adalah massa struktur yang diangkat memiliki perbandingan yang jauh lebih kecil bila dibanding kapal. gerakan *roll heading* 180° memiliki nilai masimum 2 *degree* yang merupakan nilai gerakan *roll* yang sangat rendah bila dibanding arah lain. Nilai *mean motion*, *RMS*, *maximum motion* dan frekuensi dari gerakan ini disajikan pada Tabel 4.26 :

Tabel 4.26. *Mean Motion*, *RMS*, *Maximum Motion* dan Frekuensi *roll* Kapal *Heading* 180° .

Arah Pembebanan		Kondisi Struktur yang diangkat		
		Struktur #1	Struktur #2	Struktur #3
Sudut 180°	<i>Mean Motion</i> (deg)	0,079	0,073	0,076
	<i>RMS</i> (deg)	1,414	1,283	1,294
	<i>Maximum Motion</i> (deg)	2,294	1,978	1,983
	Frekuensi (rad/s)	0,18	0,176	0,177

Nilai *mean motion* untuk gerakan *roll heading* 180° memiliki harga yang mendekati 0, hal ini mnunjukkan gaya gelombang acak arah haluan (*heading* 180°)

tidak berpengaruh besar terhadap kapal dan kapal tetap memiliki gaya pengembali yang lebih dominan. Sedangkan nilai RMS nya grakan ini merupakan nilai rata- rata paling rendah bila dibandingkan dengan *heading* sebelumnya.



Gambar 4.41. Rekaman Gerakan *Pitch* gelombang Acak *Heading* 180°

Gerakan *pitch* kapal *heading* 180 ° akibat gelombang acak pada Gambar 4.37 memiliki nilai yang relatif tinggi bila dibandingkan arah *heading* lain, bila dibandingkan dengan gerakan *free floating*-nya pun memiliki nilai maksimum yang sama. Bila dilihat hasil gerakan untuk tiap variasi ukuran hampir seragam, hal ini dikarenakan gerakan *pitch* merupakan gerakanrotasi pada sumbu-x yang menyebabkan kapal mengalami pergerakan yang intens, bila dikenakan searah sumbu-x nya.hasil *mean motion*, *RMS*, *maximum motion* dan frekuensi dari gerakan *pitch* kapal *heading* 180 ° pada Tabel 4.27 :

Tabel 4.27. *Mean Motion*, *RMS*, *Maximum Motion* dan Frekuensi *Pitch* Kapal *Heading* 180° .

Arah Pembebanan		Kondisi Struktur yang diangkat		
		Struktur #1	Struktur #2	Struktur #3
Sudut 180°	<i>Mean Motion</i> (deg)	-0,122	-0,118	-0,116
	<i>RMS</i> (deg)	0,689	0,519	0,0502
	<i>Maximum Motion</i> (deg)	0,986	0,952	0,964
	Frekuensi (rad/s)	0,162	0,136	0,137

Mean motion untuk gerakan *pitch heading* 180° memiliki harga negatif dikarenakan gelombang acak yang mengenai badan kapal lebih dominan bila dibandingkan gaya pengembali kapal tersebut. hal ini menunjukkan gaya gelombang acak arah haluan (*heading* 180°) berpengaruh besar terhadap kapal. Nilai *maximum motion* gerakan ini hampir mendekati batas 1°.

4.9 Pngaruh *Bouyancy* Pada Saat Struktur Berada di Daerah *Splash Zone* Terhadap Gerak Kapal dan Objek.

Merujuk kepada persamaan gerak kapal dan objek menurut DNV RP H-103 (2011) pada persamaan 4.2, pada pembahasan selanjutnya akan ditunjukkan pengaruh besaran hidrodinamis tersebut terhadap respon gerak kapal dan objek.

Persamaan gerak dari sistem diatas di formulasikan sebagai berikut:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{F} \quad (4.2)$$

Dengan:

\mathbf{M} = Matriks massa dan inertia; \mathbf{C} = Matriks kekakuan; \mathbf{F} = Gaya eksitasi harmonik akibat gelombang. \mathbf{M} merupakan matriks 9 x 9 dari massa dan inersia tanpa efek *couple* antara *crane vessel* dan objek:

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} \mathbf{M}_v + \mathbf{A} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{m}_o + \mathbf{a} \end{pmatrix} \quad (4.3)$$

\mathbf{M}_v = 6 × 6 matriks massa dari *Body vessel* [kg]

\mathbf{A} = 6 × 6 matriks massa tambah dari *vessel* [kg]

\mathbf{m}_o = 3 × 3 matriks massa dari objek [kg]

\mathbf{a} = 3 × 3 matriks massa tambah dari objek [kg]

(DNV RP C-205) Matrix masa \mathbf{M} dan matrix *added mass* keduanya simetris. Masa dari *body vessel* saat kondisi *free floating* adalah $\mathbf{M} = \rho V$, ρ adalah masa jenis air dan V adalah volume struktur yang tercelup air. Dimana matrix massa *body vessel* [\mathbf{M}_{jk}] dapat digambarkan sebagai berikut :

$$M_{jk} = \begin{bmatrix} M & 0 & 0 & 0 & Mz_G & -My_G \\ 0 & M & 0 & -Mz_G & 0 & Mx_G \\ 0 & 0 & M & My_G & -Mx_G & 0 \\ 0 & -Mz_G & My_G & I_{11} & I_{12} & I_{13} \\ Mz_G & 0 & -Mx_G & I_{21} & I_{22} & I_{23} \\ -My_G & Mx_G & 0 & I_{31} & I_{32} & I_{33} \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

Dimana :

I_{ij} = *Moment Inersia*

(x_G, y_G, z_G) = *Centre of Gravity (CoG)*

C merupakan matriks kekakuan *couple system* 9 x 9 yang dikontribusi dari 3 komponen yaitu matriks kekakuan hidrostatik, matriks kekakuan *mooring*, dan matriks *couple* antara *vessel* dan objek, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$C_c = \begin{pmatrix} k_s & 0 & 0 & 0 & k_s z_t & -k_s y_t & -k_s & 0 & 0 \\ & k_s & 0 & -k_s z_t & 0 & k_s x_t & 0 & -k_s & 0 \\ & & k_e & k_e y_t & -k_e x_t & 0 & 0 & 0 & -k_e \\ & & & C_{c44} & -k_e x_t y_t & k_s z_t x_t & 0 & k_s z_t & k_e y_t \\ & & & & C_{c55} & -k_s z_t y_t & -k_s z_t & 0 & k_e x_t \\ & & & & & C_{c66} & k_s y_t & -k_s x_t & 0 \\ & & & & & & k_s & 0 & 0 \\ & & & & & & & k_s & 0 \\ & & & & & & & & k_e \end{pmatrix} \quad (4.5)$$

$k_s = w/L_s$ [N/m]

$k_e = AE/Le$ [N/m]

L_s = Panjang *Hoisting wire* dari ujung *crane* ke pusat benda yang diangkat [m]

L_e = Panjang *efektif hoisting wire* [m]

AE = Kekakuan dari *wire* [N/m]

w = Berat benda tercelup [N]

x_t = pposisi ujung *crane* searah sumbu-x [m]

y_t = posisi ujung *crane* searah sumbu-y [m]

z_t = posisi ujung *crane* searah sumbu-z [m]

F merupakan beban harmonis akibat gelombang, F dapat diformulasikan dalam bentuk komplek x sebagai berikut:

$$F = \text{Re} \{F_a e^{i\omega t}\} \quad (4.6)$$

$$F_a = \{F_1, \dots, \dots, F_6, 0, 0, 0\}^T \quad (4.7)$$

F_a = amplitudo eksitasi beban; ω adalah frekuensi *angular* gelombang dan Re menunjukkan ekspresi bagian *real* dari bentuk kompleks. Kemudian respon gerakan dari sistem kopel *vessel* dan objek didapatkan dari:

$$\eta_i = (-\omega^2 M + i\omega B + C)^{-1} F \quad (4.8)$$

Dengan $\eta_i = \{\eta\}, i = 1, 2, 3, \dots \dots 9$

Harga masa tambah pada objek yang terjadi mengakibatkan harga masa total objek juga berbeda. Sehingga besarnya koefisien inersia(M) pada komponen gaya inersia juga berbeda. Perbedaan volume benda yang tercelup akan menyebabkan harga *bouyancy* atau gaya apung terhadap muka air laut. Persamaan gaya apung F_p adalah :

$$F_p = \rho g V \quad (4.9)$$

Dengan :

ρ = massa jenis air laut = 1025 [kg/m³]
 V = volume benda tercelup relatif dari permukaan air rata-rata terhadap muka air puncak gelombang atau lembah gelombang [m³]
 g = percepatan gravitasi [m/s²]

Mengingat gaya apung memiliki harga yang berubah tergantung pada ukuran struktur, makaharga benda tercelup (w). Akibatnya matriks kekakuan C yang terdapat komponen berat benda tercelup w yaitu $ks - w/k_s$. Kontribusi harga ks dalam matriks kekakuan C sangat dominan.

Menurut penjelasan diatas, bahwa harga besaran hidrodinamis Massa M , kekakuan C dan gaya eksitasi F mengalami perubahan terhadap variasi pembebanan. Maka respon gerakan kapal dan objek yang mengikuti persamaan

$\eta_i = (-\omega^2 M + C)^{-1} F$ akan menghasilkan respon gerak kapal dan objek yang berbeda. Mengingat moda gerak *crane vessel* dengan 3 gerak translasi dan 3 gerak rotasi secara berturut – turut *surge, sway, heave*, dan *roll, pitch, yaw*. Kemudian η_7 adalah gerakan translasi objek terhadap sumbu-x, η_8 adalah gerakannya translasi objek terhadap sumbu-y, η_9 adalah gerakan translasi objek terhadap sumbu-z.

4.10 Perhitungan *Tension Sling* di Udara (*in Air*)

Perhitungan hasil *tension sling* saat struktur dalam kondisi di udara */in air* (analisa dengan menggunakan *software* SACS 5.6) . Perhitungan ini mengasumsikan beban dinamis dari lingkungan (angin) yang tidak diketahui datanya, kemudian ditransformasikan kedalam beban statis dengan menggunakan faktor pengali yang disebut dengan DAF (*Dynamic Amplification Factors*) yang dikategorikan berdasar hubungan antara member pada struktur dengan titik angkatanya (*lift point*). Besar nilai DAF (API RP 2A WSD sec. 2.4.2.a) yang diberikan seperti pada Tabel 4.28 berikut :

Tabel 4.28. *Dynamic Amplification Factor* (API RP 2A WSD)

Member	DAF
Terhubung dengan <i>lift point</i>	2.00
Tidak terhubung dengan <i>lift point</i>	1.35

Sedangkan berdasarkan DNV Pt2 Ch9-*Lifting* (1996), beban lingkungan juga dapat dikategorikan sebagai beban dinamis dan dapat ditransformasikan menggunakan faktor beban pada beban statis dengan DAF seperti Tabel 4.29 :

Tabel 4.29. *Dynamic Amplification Factor* (DNV Pt2)

Static Hook Load (ton)	DAF <i>Offshore</i>
50-100	1.30
100-1000	1.20
1000-2500	1.15
>2500	1.10

Dari Table 4.28. dapat diketahui bahwa dalam penelitian ini menggunakan DAF kondisi *Offshore* sebesar 1.2 disebabkan beban statis yang dikenakan pada titik hook rentan antara 100 s/d 1000 ton. Sedangkan berat struktur *jacket* sendiri dibagi menjadi 3 bagian yaitu kondisi utuh, potongan atas, dan potongan bawah, dengan masing – masing berat seperti pada Tabel 4.30 :

Tabel 4.30. Variasi Ukuran Struktur Jacket yang Diangkat

Kondisi	Ukuran Struktur Jacket	<i>Selfweight</i> (ton)
Kondisi #1	Jacket Utuh	326,31
Kondisi #2	Jacket Potongan Atas	169, 21
Kondisi #3	Jacket Potongan Bawah	202,4

Sebelum memulai perhitungan *tension sling*, terlebih dahulu dilakukan perhitungan nilai *Minimum Breaking Load* (MBL) pada tiap *sling* yang digunakan, perhitungan tersebut disajikan dalam Tabel 4.31 berikut :

Tabel 4.31. Data Karakteristik *Sling*

Data		<i>Sling</i> CS	<i>Sling</i> 1	<i>Sling</i> 2	<i>Sling</i> 3	<i>Sling</i> 4
Diameter (mm)		20	35	35	35	35
Panjang (m)	Kondisi #1	80	17,35	17,29	17,37	17,31
	Kondisi #2	88,965	17,35	17,29	17,37	17,31
	Kondisi #3	90,1	18,48	18,41	18,45	18,39
Sudut (deg)	Kondisi #1	90°	70,06	69,90	69,99	69,83
	Kondisi #2	90°	70,06	69,90	69,99	69,83
	Kondisi #1	90°	72,16	70,41	70,94	71,82
Keterangan		Katrol dengan 24 kali lilitan	Grommet	Grommet	Grommet	Grommet
MBL	Kondisi #1	11079	5586,84	5397,3	5492,16	5539,5
	Kondisi #2	5610,24	2945,376	2870,721	2970,23	2910,33
	Kondisi #3	6949,16	3648,31	3737,44	3618,63	3432,57

Sehingga dalam proses perhitungannya, beban statis pada struktur *Jacket* kemudian dikalikan dengan DAF dan pada tiap membranya sebesar 2 untuk yang terletak pada *lift point*, 1,35 untuk member lain yang berada di bawahnya, dan 1,2 untuk beban *jacket* itu sendiri (*selfweight*). Namun pada perhitungan *tension sling* pada *software* SACS 5.6 tidak menghitung besar *tension* pada *sling* CS seperti yang dicontohkan oleh (El-reedy,2014). Dan perhitungan *oprable*-nya dilakukan dengan kriteria SF (*Safety Factors*) yang diperoleh dari MBL dibagi dengan *tension* yang dihasilkan. Sehingga diperoleh hasil *tension sling* pada saat proses *lifting jacket offshore* kondisi *in air* pada setiap variasi ukuran dan setiap COG (*Centre of Gravity*) *shifting* yang disajikan dalam Tabel 4.32 – 4.34. :

Tabel 4.32. *Tension Sling Initial COG & COG Shift Kondisi Jacket Utuh*

<i>Sling</i>	Kondisi	<i>Tension</i> (kN)	SF	<i>Sling</i>	Kondisi	<i>Tension</i> (kN)	SF
1	<i>Initial COG</i>	1231	4,25	3	<i>Initial COG</i>	1293.48	4,19
	<i>COG Shift</i> +X+Y	1241,52	4,14		<i>COG Shift</i> +X+Y	1325.08	4,15
	<i>COG Shift</i> +X- Y	1199,4	4,28		<i>COG Shift</i> +X- Y	1282.96	4,30
	<i>COG Shift</i> - X+Y	1220,48	4,35		<i>COG Shift</i> - X+Y	1261.88	4,23
	<i>COG Shift</i> -X- Y	1262,6	4,21		<i>COG Shift</i> -X- Y	1304	4,08
2	<i>Initial COG</i>	1246,72	4,34	4	<i>Initial COG</i>	1277.84	4,33
	<i>COG Shift</i> +X+Y	1215,12	4,37		<i>COG Shift</i> +X+Y	1267.32	4,44
	<i>COG Shift</i> +X- Y	1257,24	4,29		<i>COG Shift</i> +X- Y	1309.44	4,02
	<i>COG Shift</i> - X+Y	1278,32	4,30		<i>COG Shift</i> - X+Y	1288.36	4,22
	<i>COG Shift</i> -X- Y	1236,2	4,44		<i>COG Shift</i> -X- Y	1246.24	4,37

Dari Tabel 4.32 dapat diketahui bahwa hasil analisa *lifting in air* kondisi *jacket* struktur utuh pada tiap variasi pergeseran COG dan tiap tali *sling* telah memenuhi syarat, dikarenakan semua nilai *tension* pada kondisi ini memiliki harga SF > 4.

Tabel 4.33. *Tension Sling initial COG & COG Shift Kondisi Jacket Potongan Atas*

<i>Sling</i>	Kondisi	<i>Tension</i> (kN)	SF	<i>Sling</i>	Kondisi	<i>Tension</i> (kN)	SF
1	<i>Initial COG</i>	615.5	4.79	3	<i>Initial COG</i>	646.74	4.59
	<i>COG Shift +X+Y</i>	620.76	4.74		<i>COG Shift +X+Y</i>	662.54	4.48
	<i>COG Shift +X-Y</i>	599.7	4.91		<i>COG Shift +X-Y</i>	641.48	4.63
	<i>COG Shift -X+Y</i>	610.24	4.83		<i>COG Shift -X+Y</i>	630.94	4.71
	<i>COG Shift -X-Y</i>	631.3	4.67		<i>COG Shift -X-Y</i>	652	4.56
2	<i>Initial COG</i>	623.36	4.61	4	<i>Initial COG</i>	638.92	4.56
	<i>COG Shift +X+Y</i>	607.56	4.73		<i>COG Shift +X+Y</i>	633.66	4.59
	<i>COG Shift +X-Y</i>	628.62	4.57		<i>COG Shift +X-Y</i>	654.72	4.45
	<i>COG Shift -X+Y</i>	639.16	4.49		<i>COG Shift -X+Y</i>	644.18	4.52
	<i>COG Shift -X-Y</i>	618.1	4.64		<i>COG Shift -X-Y</i>	623.12	4.67

Dari Tabel 4.33 diatas, dapat diketahui bahwa hasil analisa *lifting in air* kondisi *jacket* struktur potongan atas pada tiap variasi pergeseran COG dan tiap tali *sling* telah memenuhi syarat, dikarenakan semua nilai *tension* pada kondisi ini memiliki harga SF > 4.

Tabel 4.34. *Tension Sling initial COG & COG Shift Kondisi Jacket Potongan Bawah*

<i>Sling</i>	Kondisi	<i>Tension</i> (kN)	SF	<i>Sling</i>	Kondisi	<i>Tension</i> (kN)	SF
1	<i>Initial COG</i>	769,375	4,74	3	<i>Initial COG</i>	808,425	4,48
	<i>COG Shift +X+Y</i>	775,95	4,70		<i>COG Shift +X+Y</i>	828,175	4,37
	<i>COG Shift +X-Y</i>	749,625	4,87		<i>COG Shift +X-Y</i>	801,85	4,51
	<i>COG Shift - X+Y</i>	762,8	4,78		<i>COG Shift - X+Y</i>	788,675	4,59
	<i>COG Shift – X-Y</i>	769,375	4,74		<i>COG Shift –X-Y</i>	808,425	4,48
2	<i>Initial COG</i>	779,2	4,80	4	<i>Initial COG</i>	798,65	4,30
	<i>COG Shift +X+Y</i>	759,45	4,92		<i>COG Shift +X+Y</i>	792,075	4,33
	<i>COG Shift +X-Y</i>	785,775	4,76		<i>COG Shift +X-Y</i>	818,4	4,19
	<i>COG Shift - X+Y</i>	798,95	4,68		<i>COG Shift - X+Y</i>	805,225	4,26
	<i>COG Shift – X-Y</i>	779,2	4,80		<i>COG Shift –X-Y</i>	798,65	4,30

Dari Tabel 4.34 diatas, dapat diketahui bahwa hasil analisa *lifting in air* kondisi *jacket* struktur potongan atas pada tiap variasi pergeseran COG dan tiap tali *sling* telah memenuhi syarat, dikarenakan semua nilai *tension* pada kondisi ini memiliki harga $SF > 4$.

Sehingga didapatkan keseluruhan analisa *lifting* kondisi *in air* pada tiap variasi pembebanan *tension* masing – masing *sling* telah memenuhi kriteria operabilitas dengan nilai *Safety Factors* > 4 .

4.11 Perhitungan *Tension Sling* di *Splash Zone*

Kriteria *tension sling* yang harus melebihi nilai $SF > 4$ juga disyaratkan pada perhitungan *tension sling* kondisi *splash zone*, menggunakan SF guna mengetahui apakah sudah memenuhi kriteria yang diinginkan. Perhitungan *tension sling* kondisi *splash zone* dari semua variasi *heading* gelombang acak dengan $H = 3,5$ m disajikan pada Tabel 4.35 - 4.39 berikut :

Tabel 4.35. Harga Siknifikan *Tension* dan Nilai *Safety Factors* tiap Kondisi Pembebanan *Heading* 0°

<i>Sling</i>	Kondisi Struktur	Siknifikan <i>Tension</i> (kN)		SF
		Min	Max	
CS	#1	993,22	2363,52	6,56
	#2	523,62	1196,85	6,09
	#3	543,26	1241,74	6,20
<i>Sling</i> 1	#1	615,50	1086,52	5,94
	#2	157,65	394,14	6,18
	#3	198,64	496,61	5,84
<i>Sling</i> 2	#1	620,76	1113,06	5,94
	#2	160,20	400,50	6,40
	#3	194,42	516,32	5,93
<i>Sling</i> 3	#1	599,70	1077,69	5,99
	#2	165,60	414,00	6,23
	#3	212,01	530,03	5,98
<i>Sling</i> 4	#1	628,62	1022,27	5,68
	#2	160,51	401,27	6,19
	#3	202,77	506,93	5,95

Dari Tabel 4.35, diketahui bahwa pada simulasi pengangkatan struktur *jacket* kondisi *splash zone* dengan *heading* 0° semua *wire sling* pada tiap variasi struktur telah memenuhi kriteria dengan nilai $SF > 4$ sehingga dapat dikatakan tidak ada *wire sling* yang mengalami kegagalan.

Tabel 4.36. Harga Siknifikan *Tension* dan Nilai *Safety Factors* tiap Kondisi Pembebanan *Heading* 45 °

<i>Sling</i>	Kondisi Struktur	Siknifikan <i>Tension</i> (kN)		SF
		Min	Max	
CS	#1	1079,58	2569,04	5,03
	#2	569,15	1300,93	4,67
	#3	590,50	1349,72	4,75
<i>Sling</i> 1	#1	669,02	1181,00	4,55
	#2	215,92	539,79	4,73
	#3	171,36	428,41	4,48
<i>Sling</i> 2	#1	674,74	1209,85	4,55
	#2	211,33	561,22	4,91
	#3	174,13	435,32	4,54
<i>Sling</i> 3	#1	651,85	1971,40	3,91*
	#2	230,45	576,12	4,78
	#3	180,00	450,00	4,58
<i>Sling</i> 4	#1	683,28	1111,17	4,35
	#2	220,40	551,01	4,74
	#3	174,47	436,17	4,56

**Sling* 3 mengalami kegagalan karena SF <4.

Dari Tabel 4.36 diketahui simulasi pengangkatan struktur *jacket* kondisi *splash zone* dengan *heading* 45 ° saat kondisi struktur #1 terdapat *sling* 3 mengalami kegagalan dikarenakan memiliki harga *safety factors* sebesar 3,91 yang terjadi akibat kondisi struktur utuh yang dikenai beban gelombang acak *heading* 45 °. Sehingga dapat disimpulkan *sling* 3 mengalami kegagalan dengan nilai SF < 4.

Tabel 4.37. Harga Siknifikan *Tension* dan Nilai *Safety Factors* tiap Kondisi Pembebanan *Heading* 90 °

<i>Sling</i>	Kondisi Struktur	Siknifikan <i>Tension</i> (kN)		SF
		Min	Max	
CS	#1	1241,52	2954,4	5,25
	#2	654,528	1496,064	4,87
	#3	679,077	1552,176	4,96
<i>Sling</i> 1	#1	769,375	1358,15	4,75
	#2	248,304	620,76	4,94
	#3	197,068	492,67	4,67
<i>Sling</i> 2	#1	775,95	1791,33	3,93
	#2	243,024	645,4	5,12
	#3	200,248	500,62	4,74
<i>Sling</i> 3	#1	749,625	1347,11	4,79
	#2	265,016	662,54	4,98
	#3	207	517,50	4,78
<i>Sling</i> 4	#1	785,775	1277,84	4,54
	#2	253,464	633,66	4,95
	#3	200,636	501,59	4,76

**Sling* 2 mengalami kegagalan karena SF <4.

Dari Tabel 4.37 diketahui saat kondisi #1 terdapat sling yang mengalami kegagalan. Yaitu *sling* 2 memiliki harga *safety factors* sebesar 3,93 yang terjadi akibat kondisi struktur utuh yang dikenai beban gelombang acak *heading* 90 °. Sehingga dapat disimpulkan salah satu sling mengalami kegagalan kondisi struktur utuh dan beban gelombang acak *heading* 90 ° pada *sling* 2 ddengan nilai SF < 4.

Tabel 4.38. Harga Siknifikan *Tension* dan *Safety Sactors* Tiap Kondisi Pembebanan
Heading 135 °

Sling	Kondisi Struktur	Siknifikan Tension (kN)		SF
		Min	Max	
CS	#1	1025,60	2440,59	4,78
	#2	540,69	1235,88	4,44
	#3	560,98	1282,23	4,51
<i>Sling 1</i>	#1	635,57	1572,83	3,97
	#2	205,12	512,80	4,49
	#3	162,79	406,99	4,26
<i>Sling 2</i>	#1	641,00	1149,36	4,32
	#2	200,76	533,16	4,66
	#3	165,42	413,55	4,31
<i>Sling 3</i>	#1	619,26	1121,95	4,32
	#2	218,93	547,31	4,54
	#3	171,00	427,50	4,35
<i>Sling 4</i>	#1	649,12	1055,61	4,13
	#2	209,38	523,46	4,50
	#3	165,75	414,36	4,33

**Sling 4* mengalami kegagalan karena $SF < 4$.

Dari Tabel 4.38 diketahui simulasi pengangkatan struktur *jacket* kondisi *splash zone* dengan *heading 135 °* saat kondisi #1 terdapat sling yang mengalami kegagalan. Yaitu *sling 1* memiliki harga *safety factors* sebesar 3,97 yang terjadi akibat kondisi struktur utuh yang dikenai beban gelombang acak *heading 135 °*. Sehingga dapat disimpulkan *sling 1* mengalami kegagalan kondisi struktur utuh dan beban gelombang acak *heading 135 °* dengan nilai $SF < 4$.

Tabel 4.39. Harga signifikan *tension* dan *safety factors* tiap Kondisi pembebanan *heading* 180 °

Sling	Kondisi Struktur	Signifikan Tension (kN)		SF
		Min	Max	
CS	#1	1128,65	2685,82	4,82
	#2	595,03	1360,06	4,47
	#3	617,34	1411,07	4,55
Sling 1	#1	699,43	1234,68	4,36
	#2	225,73	564,33	4,53
	#3	179,15	447,88	4,28
Sling 2	#1	705,41	1264,85	4,36
	#2	220,93	586,73	4,69
	#3	182,04	455,11	4,34
Sling 3	#1	681,48	1224,65	4,39
	#2	240,92	602,31	4,57
	#3	188,18	470,45	4,38
Sling 4	#1	714,34	1861,67	3,89
	#2	230,42	576,05	4,54
	#3	182,40	455,99	4,37

*Sling 4 mengalami kegagalan karena $SF < 4$.

Dari Tabel 4.39 diketahui saat kondisi #1 terdapat sling yang mengalami kegagalan. Yaitu *sling* 4 memiliki harga *safety factors* sebesar 3,89 yang terjadi akibat kondisi struktur utuh yang dikenai beban gelombang acak *heading* 180 °. Sehingga dapat disimpulkan *sling* 4 mengalami kegagalan kondisi struktur utuh dan beban gelombang acak *heading* 180 ° dengan nilai $SF < 4$.

Hasil analisis simulasi *lifting jacket* kondisi *splash zone*, didapatkan pada hampir semua *heading* (kecuali *heading* 0°) dari gelombang acak, terdapat 1 *wire sling* yang mengalami kegagalan dikarenakan nilai *tension* salah satu *sling* memiliki nilai yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan MBL (*Minimum Breaking Load*) sehingga menyebabkan perbandingannya memiliki $SF < 4$ yang membuat nilai *tension wire sling* belum memenuhi kriteria operabilitas.

Oleh sebab itu, dikarenakan masih ada kriteria *tension sling* yang memiliki $SF < 4$, peneliti mencoba mengurangi nilai tinggi gelombang datang yang diharapkan dapat meminimalkan hasil *tension wire sling* pada tiap *heading* pembebanan gelombang acak. Kemudian peneliti mencoba *running* ulang pada beberapa kondisi yang belum memenuhi yaitu pada struktur utuh saja, *heading* 45°, 90°, 135° dan 180°, dengan gelombang acak $H = 3$ m, sehingga didapatkan *tension sling* pada Tabel 4.40 berikut :

Tabel 4.40. Hasil *Running Ulang Lifting Jacket* Kondisi Struktur Utuh $H = 3$ m, *heading* 45°, 90°, 135° dan 180°.

<i>Heading</i>	<i>Sling ke -n</i>	<i>Tension</i>	SF
45°	<i>Sling ke-2</i>	1197,34	4,51
90°	<i>Sling ke-3</i>	1295,21	4,24
135°	<i>Sling ke-1</i>	1017,64	4,11
180°	<i>Sling ke-4</i>	1143,76	4,84

Dari hasil *running* ulang didapatkan nilai *tension sling* pada tiap kondisi *heading* yang sebelumnya belum memenuhi kriteria pada proses pengangkatan kondisi struktur utuh, setelah dilakukan *running* ulang dengan tinggi gelombang 3 m, diperoleh nilai *tension sling* yang lebih rendah, sehingga menghasilkan *Safety Factors* lebih tinggi dari sebelumnya dan memenuhi kriteria operabilitas $SF > 4$.

4.11. Perhitungan Operabilitas

Setelah dibahas lengkap terkait respon gerakan dan *tension sling* yang terjadi, juga telah dikorelasikan dengan kriteria operabilitas yang ada, pada setiap kriteria ditunjukkan Tabel 4.41 s/d Tabel 4.45 berikut:

Tabel 4.41. Kriteria Operabilitas Kapal Gerakan *Sway*.

Subjek	Kriteria Operabilitas	Kondisi	Keterangan	
			Semua <i>Heading</i> memenuhi operabilitas dengan :	
Kapal	Amplitudo Signifikan <i>Sway</i> <1,1 m	Struktur # 1	<i>Heading</i> 0 °	0,59 m
			<i>Heading</i> 45 °	0,89 m
			<i>Heading</i> 90 °	1,09 m
			<i>Heading</i> 135 °	0,972 m
			<i>Heading</i> 180 °	0,46 m
		Struktur # 2	<i>Heading</i> 0 °	0,54 m
			<i>Heading</i> 45 °	0,84 m
			<i>Heading</i> 90 °	1,05 m
			<i>Heading</i> 135 °	0,953 m
			<i>Heading</i> 180 °	0,35 m
		Struktur # 3	<i>Heading</i> 0 °	0,52 m
			<i>Heading</i> 45 °	0,83 m
			<i>Heading</i> 90 °	1,03 m
			<i>Heading</i> 135°	0,965 m
			<i>Heading</i> 180 °	0,34 m

 *Motion* Terbesar

Dari Tabel 4.41 dapat dilihat bahwa Amplitudo kapal saat terkena gelombang acak tiap arah *heading* dan masing-masing kondisi pembebanan tidak melebihi batas nilai amplitudo signifikan gerakan *sway* sebesar 1,1 m. Nilai amplitudo tertinggi tiap variasi struktur terdapat pada *heading* 90 °.

Tabel 4.42. Kriteria Operabilitas Kapal Gerakan *Heave*.

Subjek	Kriteria Operabilitas	Kondisi	Keterangan	
			Semua <i>Heading</i> memenuhi operabilitas dengan :	
Kapal	Amplitudo signifikan <i>Heave</i> <1,275 m	Struktur # 1	<i>Heading</i> 0 °	1,21 m
			<i>Heading</i> 45 °	1,25 m
			<i>Heading</i> 90 °	1,20 m
			<i>Heading</i> 135 °	1,24 m
			<i>Heading</i> 180 °	1,21 m
		Struktur # 2	<i>Heading</i> 0 °	1,01 m
			<i>Heading</i> 45 °	1,07 m
			<i>Heading</i> 90 °	0,96 m
			<i>Heading</i> 135 °	1,061 m
			<i>Heading</i> 180 °	1,03 m
		Struktur # 3	<i>Heading</i> 0 °	1,00 m
			<i>Heading</i> 45 °	1,05 m
			<i>Heading</i> 90 °	0,99 m
			<i>Heading</i> 135°	1,038 m
			<i>Heading</i> 180 °	1,03 m

 *Motion* Terbesar

Dari Tabel 4.42 dapat dilihat bahwa Amplitudo kapal saat terkena gelombang acak tiap arah *heading* dan masing – masing kondisi pembebanan tidak melebihi batas nilai amplitudo signifikan gerakan *heave* sebesar 1,255 m, yaitu menyatakan tentang keselamatan/kemudahan dalam pemindahan dan pemuatan barang (Djatkiko, 2012). Nilai amplitudo tertinggi tiap variasi struktur terdapat pada *heading* 45 °.

Tabel 4.43. Kriteria Operabilitas Kapal Gerakan *Roll*

Subjek	Kriteria Operabilitas	Kondisi	Keterangan	
			Semua <i>Heading</i> memenuhi operabilitas dengan :	
Kapal	Amplitudo Signifikan <i>Roll</i> < 3°	Struktur # 1	<i>Heading</i> 0 °	1,22 °
			<i>Heading</i> 45 °	2,95 °
			<i>Heading</i> 90 °	2,96 °
			<i>Heading</i> 135 °	2,95 °
			<i>Heading</i> 180 °	2,96 °
		Struktur # 2	<i>Heading</i> 0 °	1,09 °
			<i>Heading</i> 45 °	2,43 °
			<i>Heading</i> 90 °	2,57 °
			<i>Heading</i> 135 °	2,53 °
			<i>Heading</i> 180 °	2,38 °
		Struktur # 3	<i>Heading</i> 0 °	1,09 °
			<i>Heading</i> 45 °	2,38 °
			<i>Heading</i> 90 °	2,48 °
			<i>Heading</i> 135°	2,54 °
			<i>Heading</i> 180 °	2,29 °



Motion Terbesar

Dari Tabel 4.43 dapat dilihat bahwa Amplitudo kapal saat terkena gelombang acak tiap arah *heading* dan masing–masing kondisi pembebanan tidak melebihi batas nilai amplitudo signifikan gerakan *roll* sebesar 3°. Nilai amplitudo tertinggi tiap variasi struktur terdapat pada *heading* 45 °. Sehingga dari hasil diatas dapat dikatakan kapal tersebut oprable.

Tabel 4.44. Kriteria Operabilitas Kapal Gerakan *Pitch*.

Subjek	Kriteria Operabilitas	Kondisi	Keterangan	
			Semua <i>Heading</i> memenuhi operabilitas dengan :	
Kapal	Amplitudo Signifikan <i>Pitch</i> <1°	Struktur # 1	<i>Heading</i> 0 °	0,998 °
			<i>Heading</i> 45 °	0,994 °
			<i>Heading</i> 90 °	0,615 °
			<i>Heading</i> 135 °	0,944 °
			<i>Heading</i> 180 °	0,986 °
		Struktur # 2	<i>Heading</i> 0 °	0,989 °
			<i>Heading</i> 45 °	0,879 °
			<i>Heading</i> 90 °	0,587 °
			<i>Heading</i> 135 °	0,883 °
			<i>Heading</i> 180 °	0,952 °
		Struktur # 3	<i>Heading</i> 0 °	0,986 °
			<i>Heading</i> 45 °	0,862 °
			<i>Heading</i> 90 °	0,542 °
			<i>Heading</i> 135°	0,892 °
			<i>Heading</i> 180 °	0,964 °

 *Motion* Terbesar

Dari Tabel 4.44 dapat dilihat bahwa Amplitudo kapal saat terkena gelombang acak tiap arah *heading* dan masing – masing kondisi pembebanan tidak melebihi batas nilai amplitudo signifikan gerakan *roll* sebesar 1°. Nilai amplitudo tertinggi tiap variasi struktur terdapat pada *heading* 0 °.

Tabel 4.45. Kriteria Operabilitas *Tension Sling* Pada Tiap Variasi Kondisi Pengangkatan.

Subjek	Kriteria Operabilitas	Kondisi	Keterangan
<i>Sling</i>	<i>Safety Factor Sling</i> > 4	<i>In Air</i>	<i>Tension wire sling all condition, SF > 4</i>
		<i>Spalsh Zone H</i> = 3,5 m	Tension sling pada pengangkatan struktur utuh pada <i>heading</i> 45°, 90°, 135° dan 180° tidak memenuhi kriteria, dengan nilai <i>tension</i> pada salah satu <i>sling</i> SF < 4
		<i>Spalsh Zone H</i> = 3 m	<i>Tension wire sling all condition and all heading wave, SF > 4.</i>

Dari Tabel 4.45 merupakan hasil dari analisa yang telah dilakukan, pada kondisi *in air*, *tension sling* semua kondisi pembebanan dan variasi COG *shifting* memenuhi kriteria dengan SF > 4. Sedangkan pada kondisi *splash zone* dengan tinggi gelombang acak 3,5 m dimana pada *heading* 45° pada *sling* ke-3 yang memiliki nilai SF = 3,91, *heading* 90° pada *sling* ke-2 yang memiliki nilai SF = 3,93, *heading* 135° pada *sling* ke-1 yang memiliki nilai SF = 3,97 dan *heading* 180° pada *sling* ke-4 yang memiliki nilai SF = 3,89, sehingga didapatkan belum memenuhi kriteria operabilitas. Namun setelah tinggi gelombang acak dikurangi menjadi 3 m, didapatkan *tension sling* saat pengangkatan struktur utuh pada *heading* 45°, 90°, 135° dan 180° telah memenuhi kriteria SF > 4.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian mengenai analisis operabilitas *floating crane vessel* saat proses pengangkatan dalam operasi *jacket platform removal* telah selesai dilakukan. Sesuai dengan tujuan penelitian bahwa pengaruh gelombang dan pembebanan yang dimaksudkan adalah untuk mengetahui pengaruh variasi pembebanan terhadap *motion* dan *tension sling* yang terjadi pada *floating crane vessel*. Adapun kesimpulan dari penelitian ini meliputi:

1. Pada simulasi dan analisis *motion* gerakan *sway*, *heave*, *roll*, dan *pitch* seluruhnya memenuhi kriteria operabilitas yang telah ditentukan pada setiap kondisi pembebanan.
2. Pada simulasi dan analisis *lifting* kondisi *n air*, didapatkan bahwa semua struktur di hitung pergeseran *Centre of Gravity* dan hasil pada tiap kondisi struktur, didapatkan semua *tension* memenuhi nilai $SF > 4$ pada setiap variasi *Centre of Gravity*.
3. Pada simulasi dan analisis *lifting* kondisi *splash zone*, didapatkan bahwa terdapat *tension sling* yang mengalami kegagalan yaitu saat $H_s = 3,5$ m, pada *heading* 45° pada *sling* ke-3 yang memiliki nilai $SF = 3,91$, *heading* 90° *sling* ke-2 yang memiliki nilai $SF = 3,93$, *heading* 135° pada *sling* ke-1 yang memiliki nilai $SF = 3,89$. dan *heading* 180° pada *sling* ke-4 yang memiliki nilai $SF = 3,89$. Namun dengan analisis ulang menggunakan $H_s = 3$ m, didapatkan semua nilai *tension* pada *sling* yang mulanya belum memenuhi kriteria, telah memenuhi kriteria dengan nilai $SF > 4$.

5.2 Saran

1. Dalam Permodelan *lifting Jacket* ini diperlukan lagi tambahan variasi H_s yang lebih banyak untuk mendapatkan gambaran operabilitas struktur yang lebih maksimal.
2. Stuktur yang diangkat harus minimal memiliki berat 5% dari *floating crane vessel* agar bila digunakan pada referensi di lapangan akan semakin akurat.
3. Simulasi time domain yang lebih lama atau dengan menggunakan durasi minimal 3 jam (mewakili kondisi badai dan frekuensi domain), agar perhitungan yang dilakukan semakin akurat dan *floating crane* yang sesuai dengan struktur yang diangkat agar mendapat gambaran hasil atau dua pendekatan dinamis tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- API RP 2A WSD 21 st Edition 2007, *Recomanded Practice for Planning Design, and Cosntructing Fixed Offshore Platform*, Washington DC, American Petroleum Institute.
- Chakrabarti, S. K., 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structures*. Boston : Computational Mechanics Publications Southampton.
- Chakrabarti, S. K., 2005. *Handbook of Offshore Engineering Vol 2*. Boston : Computational Mechanics Publications Southampton.
- Coric, V, Ivan Catipovic, Vedran Slapnicar, 2014, *Floating Crane Response in Sea Waves*, Ship Building, Volume 65 No 2.
- Djarmiko, E. B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*, ITS Press, Surabaya.
- DNV Part 2 Chapter 5 – Lifting, 1996, *Rules of Palnning and And Execution of Marine Operations*, Norway, Det Norske Veritas.
- DNV-RP-H103. 2011. *Modelling and Analysis of Marine Operations.Recommended Practice*. Norway.
- DNV-RP-C205. 2010. *Environmental Conditions And Environmental Loads*. Recommended Practice. Norway
- Faltinsen, O. M, 1990, *Sea Loads on Ships And Offshore Structure*, Cambrigde University Press.
- <https://www.offshoreenergytoday.com/low-oil-price-to-boost-decommissioning-on-ukcs-140-fields-could-cease-over-the-next-five-years/>
- Ju- Hwan Cha, Myung- Il Roh, Kyu-Yeul Lee, 2010, *Dynamic response simulation of a heavy cargo suspended by a floating crane based on multibody system dynamics*, Journal Elsevier, Ocean Engineering 37, Hal 1273-1291.

- Nauke, M., *Requirements for the Removal and Disposal of Offshore Installations and Platforms*, Seminar on the Removal and Disposal of Obsolete Offshore Installations and Structures in the Exclusive Economic Zone and on the Continental Shelf, 25 – 26 May 1992, Jakarta, Hlm. 1.
- Nielsen, F.G. 2007. *Lecture Notes in Marine Operations*. Department of Marine Hydrodynamics, Faculty of Marine Technology, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim/Bergen January 2007.
- North West Hutton Decommissioning Programme February 2005.*
- Peters, Paul, A.H.A. Soons and Lucie A. Zima, 1984, *Removal of Installation in the Exclusive Economic Zone*, Netherlands Yearbook of International Law, Volume XV, Martinus Nijhoff Publishers, Hal 173.
- PHE ONWJ , *L-Com Platform Final Report*, Deck Rising Project.
- Seung-Ho Ham, Myung-Il Roh, Hyewon Lee, Sol Ha, 2015, *Multibody Dynamic Analysis of a Heavy Load Suspended by a Floating Crane with Constraint-Based Wire Rope*, Journal Elsevier, Ocean Engineering 109, Hal 145-160.
- Shuttleworth, Paul, 2015, *Ekofisk Decommissioning An Engineering Perspective*, Presentation in 9th April 2015.
- Soegiono, 2005, *Teknologi Produksi Bangunan Lepas Pantai*, Universitas Airlangga Press.
- Sun, Youngan, Wanli Li, Dashan Dong, Xiao Mei, Haiyan Qiang, *Dynamic Analysis and Active Control of Floating Crane*, Technical Gazette 22, Juni 2015 Hal 1383-1391.

LAMPIRAN

Input Pemodelan Kapal Pada Moses (AEGIR.dat)

&Dimen -Save -Dimen METERS M-TON

&Describe Body AEGIR

\$\$&instat AEGIR -condi 10.5 0.0 0.0

\$#WEIGHT 78489 22.2 55.0 53.9 -CEN 211.48 -97.1 -0.2 13.4

\$

&dimen -save -dimen meters m-tons

\$=====UPPER BOW

Pgen -perm 1.0 -loc 0.0 0.0 0.0 -Cs_Wind 1.00 1.00 0.0 -difttype 3diff

\$

Plane 211.48-211.48 -Cart 0 16.1

\$

Plane 211.48-210.8 -Cart 0 15.2541 \

1.0086 16.1

\$

Plane 211.48-210 -Cart 0.377 14.5 \

1 15.3217 \

2 15.968 \

2.3124 16.1

\$

Plane 211.48-208 -Cart 0.0581 10.5 \

0.1063 11 \

0.1705 11.5 \

0.2553 12 \

0.3732 12.5 \

1 14.0156 \

			1.3728		14.5	\
			2		15.0527	\
			3		15.5909	\
			4		15.959	\
		4.4386		16.1		

\$

Plane 211.48-207	-Cart	0.2566	10.5	\		
			0.3013		11	\
			0.3852		11.5	\
			0.4914		12	\
			0.6199		12.5	\
			1		13.4155	\
			1.8518		14.5	\
			2		14.6233	\
			3		15.2355	\
			4		15.6493	\
			5		15.9901	\
		5.3458		16.1		

\$

end pgen

\$=====BULBOUS BOW

Pgen -perm 1.0 -loc 0.0 0.0 0.0 -Cs_Wind 1.00 1.00 0.00 -difftype 3diff

\$

Plane 211.48-211	-Cart	0	2.5	\		
					0.3	3 \
			0		4	

\$

Plane 211.48-210	-Cart	0	1.8658	\
------------------	-------	---	--------	---

			0.6546	3	\	
			0.6226	4	\	
			0	5		
\$						
Plane 211.48-209	-Cart	0	1.1309	\		
			0.5736	1.5	\	
			1		2.0807	\
			1.3409	3	\	
			1.4576	4	\	
			1.295	5	\	
			1		5.4839	\
			0		6.0425	
\$						
Plane 211.48-208	-Cart	0	0.7539	\		
			1		1.3818	\
			1.0927	1.5	\	
			1.8006	3	\	
			1.9473	4	\	
			1.881	5	\	
			1		6.6265	\
			0		6.9648	
\$						
Plane 211.48-207	-Cart	0	0.5144	\		
			1		0.9654	\
			1.4649	1.5	\	
			2		2.5073	\
			2.01587	3	\	
			2.284	5	\	

			2		6.026	\
		1.4364		7		\
		1			7.4592	\
		0.3671		8		\
		0.1854		9		\
		0			9.1	

\$

End_Pgen

\$===== HULL

Pgen -perm 1.0 -loc 0.0 0.0 0.0 -Cs_Wind 1.00 0.00 -difftype 3diff

\$

Plane 211.48-208	-Cart	0	0.7539	\
			1	1.3818 \
		1.0927		1.5 \
		1.8006		3 \
		1.9473		4 \
		1.881		5 \
		1		6.6285 \
		0		6.9648 \
		0		7 \
		0		8 \
		0		9 \
		0		10 \
		0.0581	10.5	\
		0.1063	11	\
		0.1705	11.5	\
		0.2553	12	\
		0.3732	12.5	\

			1		14.0156	\
			1.3728		14.5	\
			2		15.0527	\
			3		15.5909	\
			4		15.959	\
			4.4386		16.1	
\$						
Plane 211.48-207	-Cart	0	0.5144	\		
			1		0.9654	\
			1.4649		1.5	\
			2		2.5073	\
			2.01587	3		\
			2.284		5	\
			2		6.026	\
			1.4364		7	\
			1		7.4592	\
			0.3671		8	\
			0.1854		9	\
			0.2566		10.5	\
			0.3013		11	\
			0.3852		11.5	\
			0.4914		12	\
			0.6199		12.5	\
			1		13.4155	\
			1.8518		14.5	\
			2		14.6233	\
			3		15.2355	\
			4		15.6493	\

			5	15.9901	\
			5.3458	16.1	
\$					
Plane 211.48-206	-Cart	0	0.3524	\	
			1	0.7195	\
			1.772	1.5	\
			2	1.865	\
			2.4485	3	\
			2.5897	5	\
			2	6.8553	\
			1.9259	7	\
			1	8.3088	\
			0.6437	9	\
			0.5096	10.5	\
			0.5447	11	\
			0.627	11.5	\
			0.7422	12	\
			0.8866	12.5	\
			1	12.7469	\
			2	14.1532	\
			2.4119	14.5	\
			3	14.8654	\
			4	15.344	\
			5	15.7042	\
			6.1703	16.1	
\$					
Plane 211.48-205	-Cart	0	0.2336	\	
			1	0.548	\

			2		1.4357	\
			2.7156	3		\
			2.8452	5		\
			2.2661	7		\
			2		7.515	\
			1.1363	9		\
			1		9.3437	\
			0.8164	10.5	\	
			0.836	11		\
			0.9088	11.5	\	
			1	11.9299	\	
			1.2095	12.5	\	
			2	13.6748	\	
			3.0239	14.5	\	
			4	15.0121	\	
			5	15.4233	\	
			6.9239	16.1		
\$						
Plane 211.48-204	-Cart	0	0.154	\		
			1		0.4247	\
			2		1.1365	\
			2.2997	1.5		\
			2.9702	3		\
			3.		3.1382	\
			3.0806	5		\
			3		5.5226	\
			2.5485	7		\
			2		8.1289	\

			1.555	9	\
			1.1568	10.5	\
			1.1683	11	\
			1.2185	11.5	\
			1.3687	12	\
			1.5704	12.5	\
			2	13.1465	\
			3	14.0883	\
			3.6903	14.5	\
			4	14.6718	\
			5	15.1059	\
			7.7201	16.1	
\$					
Plane 211.48-203	-Cart	0	0.0973	\	
			1	0.3461	\
			2	0.9074	\
			2.5544	1.5	\
			3	2.295	\
			3.2187	3	\
			3.305	5	\
			3	6.4035	\
			2.7918	7	\
			2	8.7257	\
			1.9137	9	\
			1.9091	10.5	\
			1.5211	11	\
			1.6044	11.5	\
			1.75	12	\

			2.35109	12.5	\		
			3.325	13.1465	\		
			4.22	14.883	\		
			4.2708	14.5	\		
			5.25	14.9008	\		
			6.23	15.986	\		
			8.2718	16.1			
\$							
Plane 211.48-202	-Cart	0	0.0556	\			
			1		0.2769	\	
			2		0.7222	\	
			2.8178	1.5		\	
			3		1.7739	\	
			3.4759	3		\	
			3.529	5		\	
			3.0221	7		\	
			2.2352	9		\	
			2		9.8056	\	
			1.9007	10.5	\		
			1.9235	11		\	
			2.0097	11.5	\		
			2.2		12		\
			2.4991	12.5	\		
			3		13.0908	\	
			4		13.8773	\	
			5		14.4296	\	
			8		15.7194	\	
			8.8839	16.1			

\$

Plane 211.48-201	-Cart	0	0.0288	\		
			1		0.2256	\
			2		0.5843	\
			3		1.2825	\
			3.0957	1.5		\
			3.7483	3		\
			3.7679	5		\
			3.2635	7		\
			3		7.7426	\
			2.5657	9		\
			2.3078	10.5	\	
			2.3479	11		\
			2.4797	11.5	\	
			2.7035	12		\
			3.014	12.5	\	
			4	13.4422	\	
			5	14.0704	\	
			5.8627	14.5	\	
			8	15.4463	\	
			9.4455	16.1		

\$

Plane 211.48-200	-Cart	0	0.0137	\		
			1		0.1744	\
			2		0.4588	\
			3		1.0597	\
			3.4105	1.5		\
			4		2.8581	\

			4.0351	3	\
			4.0253	5	\
			4	5.1401	\
			3.5235	7	\
			3	8.6624	\
			2.9148	9	\
			2.7471	10.5	\
			2.8258	11	\
			2.9877	11.5	\
			3	11.5346	\
			3.244	12	\
			3.6099	12.5	\
			4	12.9145	\
			5	13.6516	\
			6.5928	14.5	\
			8	15.1665	\
			9.991	16.1	
\$					
Plane 211.48-199	-Cart	0	0	\	
			1	0.1339	\
			2	0.3504	\
			3	0.8043	\
			3.7495	1.5	\
			4	1.9074	\
			3.3497	3	\
			4.3059	5	\
			4	6.3405	\
			3.8098	7	\

			3.2918		9		\
			3.2217		10.5	\	
			3.2328		11		\
			3.5229		11.5	\	
			3.8103		12		\
			4		12.2755	\	
			4.2115		12.5	\	
			5		13.2005	\	
			7.2228		14.5	\	
			8		14.8622	\	
			10.5024		16.1		
\$							
Plane 211.48-198	-Cart	0	0.0047	\			
			1		0.094	\	
			2		0.2645	\	
			3		0.6088	\	
			4		1.4674	\	
			4.1169		1.5	\	
			4.6943		3	\	
			4.6144		5	\	
			4.1309		7	\	
			4		7.5014	\	
			3.7034		9	\	
			3.7266		10.5	\	
			3.858		11	\	
			4.0745		11.5	\	
			4.3837		12	\	
			4.8127		12.5	\	

			5		12.6885	\
			7.8546		14.5	\
			8		14.5728	\
			10.0988	16.1		
\$						
Plane 211.48-197	-Cart	0	0.009	\		
			1		0.0708	\
			2		0.1865	\
			3		0.4477	\
			4		0.9818	\
			4.5153	1.5		\
			5		2.6096	\
			5.066	3		\
			5		4.9375	\
			4.7117	5		\
			4.4974	7		\
			4.1482	9		\
			4.2366	10.5	\	
			4.3984	11		\
			4.6053	11.5	\	
			4.9574	12		\
			5		12.0608	\
			5.4074		12.5	\
			8		14.2565	\
			8.4519		14.5	\
			11.4732	16.1		
\$						
Plane 211.48-196	-Cart	0	0.0131	\		

			1		0.054	\
			2		0.3092	\
			4		0.6982	\
			5		1.5814	\
			4.944	1.5		\
			5.466	3		\
			5.3341	5		\
			5		6.5575	\
			4.9064	7		\
			4.6171	9		\
			4.9752	10.5	\	
			4.9124	11		\
			5.1583	11.5	\	
			5.5071	12		\
			5.9702	12.5	\	
			8	13.9254	\	
			9.1074	14.5	\	
			11.9367	16.1		
\$						
Plane 211.48-195	-Cart	0	0.0169	\		
			1		0.0423	\
			2		0.1037	\
			3		0.2343	\
			4		0.4903	\
			5		1.0584	\
			5.403	1.5		\
			5.8954	3		\
			5.7515	5		\

			5.3531	7	\
			5.0985	9	\
			5.2554	10.5	\
			5.4252	11	\
			5.6799	11.5	\
			6.10377	12	\
			6.5052	12.5	\
			9.5875	14.5	\
			12.3595	16.1	
\$					
Plane 211.48-190	-Cart	0	0.0031	\	
			1	0.0365	\
			2	0.047	\
			3	0.0749	\
			4	0.1267	\
			5	0.213	\
			7.1544	0.75	\
			8.0159	1.5	\
			8.4389	3	\
			8.2715	5	\
			7.873	7	\
			7.5739	9	\
			7.7294	10.5	\
			8	11.1043	\
			8.2517	11.5	\
			8.6884	12	\
			9.2519	12.5	\
			12.1323	14.5	\

			13	15.0853	\
			14.4707	16.1	
\$					
Plane 211.48-180	-Cart	0	0.0341	\	
			1	0.0353	\
			2	0.0369	\
			3	0.0389	\
			4	0.0468	\
			5	0.0597	\
			8	0.1384	\
			12.9685	0.75	\
			13.9018	1.5	\
			13.3689	3	\
			13.3938	5	\
			13.2809	7	\
			13.2515	9	\
			13.653	10.5	\
			13.9258	11	\
			14.2415	11.5	\
			14.5889	12	\
			14.9808	12.5	\
			16.6677	14.5	\
			18	15.9793	\
			18.1034	16.1	
\$					
Plane 211.48-170	-Cart	0	0.0302	\	
			1	0.0343	\
			2	0.035	\

			3		0.0356	\
			4		0.0362	\
			5		0.0398	\
			8		0.0585	\
			13		0.2087	\
			15.5696	0.75	\	
			16.3243	1.5	\	
			16.947		3	\
			17.3196	5	\	
			17.3944	7	\	
			17.5431	9	\	
			17.9414	10.5	\	
			18		10.6919	\
			20.5398	16.1		
\$						
Plane 211.48-160	-Cart	0	0.0335	\		
			1		0.034	\
			2		0.0343	\
			3		0.0346	\
			4		0.0348	\
			5		0.0357	\
			8		0.0429	\
			13		0.0903	\
			17.6675	0.75	\	
			18		1.0086	\
			19.1008	1.5	\	
			19.1493	3	\	
			19.5556	5	\	

			19.8583	7	\	
			20.6583	9	\	
			20.9688	10.5	\	
			21.9131	16.1		
\$						
Plane 211.48-150	-Cart	0	0.0338	\		
			1		0.0339	\
			2		0.034	\
			3		0.0341	\
			4		0.0343	\
			5		0.0346	\
			8		0.0378	\
			13		0.0599	\
			18		0.3283	\
			19.3682	0.75	\	
			19.8785	1.5	\	
			20.6889	3	\	
			21.0332	5	\	
			21.2712	7	\	
			21.5392	9	\	
			21.7585	10.5	\	
			22.675	16.1		
\$						
Plane 211.48-140	-Cart	0	0.0327	\		
			1		0.0339	\
			2		0.034	\
			3		0.0341	\
			4		0.0343	\

			5		0.0346	\
			8		0.0378	\
			13		0.0599	\
			18		0.3335	\
			19.0568	0.75	\	
			19.8929	1.5	\	
			20.6889	3	\	
			21.0332	5	\	
			21.2712	7	\	
			21.5392	9	\	
			21.7505	10.5	\	
			22.6116	16.1		
\$						
Plane 211.48-136	-Cart	0	0.0338	\		
			1		0.0339	\
			2		0.034	\
			3		0.034	\
			4		0.0343	\
			5		0.0361	\
			8		0.0503	\
			13		0.0599	\
			18		0.1856	\
			20.2268	0.75	\	
			21.2337	1.5	\	
			21.8728	3	\	
			21.1521	5	\	
			21.3437	7	\	
			21.4585	9	\	

			21.4620	10.5	\		
			22.0131	16.1			
\$							
Plane 211.48-100	-Cart	0	0.0335	\			
			1		0.0338	\	
			2		0.0339	\	
			3		0.0339	\	
			4		0.034	\	
			5		0.0342	\	
			8		0.0357	\	
			13		0.0486	\	
			18		0.1587	\	
			21.8239	1.5	\		
			22.3069	3	\		
			22.5418	5	\		
			22.6934	7	\		
			22.8105	9	\		
			22.8839	10.5	\		
			23.1		16.1		
\$							
Plane 211.48-45	-Cart	0	0.0402	\			
			1		0.0397	\	
			2		0.0397	\	
			3		0.0397	\	
			4		0.0384	\	
			5		0.0381	\	
			8		0.0374	\	
			13		0.0407	\	

		18		0.0843	\
		19.101		0.1278	\
		20.101		0.2085	\
		21.101		0.3762	\
		21.6019	0.5323	\	
		22.1		1.2951	\
		22.1477	1.5	\	
		22.406		3	\
		22.6		5	\
		22.7279	7	\	
		22.8303	9	\	
		22.9		10.5	\
		23.1		16.1	
\$					
Plane 211.48-40	-Cart	0	0.8836	\	
		1		0.8836	\
		2		0.8836	\
		3		0.8824	\
		4		0.8821	\
		5		0.8821	\
		8		0.8821	\
		13		0.8821	\
		18		0.9283	\
		19.101		0.9712	\
		20.101		1.0512	\
		21.101		1.2177	\
		21.7805	1.5	\	
		22.1		2.1016	\

		22.2973	3	\	
		22.5403	5	\	
		22.6937	7	\	
		22.8111	9	\	
		22.8845	10.5	\	
		23.1		16.1	
\$					
Plane 211.48-35	-Cart	0	1.8073	\	
		1		1.8073	\
		2		1.8073	\
		3		1.8063	\
		4		1.8059	\
		5		1.8059	\
		8		1.8052	\
		13		1.809	\
		18		1.8256	\
		19.101	1.8955	\	
		20.101	1.9754	\	
		21.101	2.1413	\	
		22.1	2.9985	\	
		22.103	3	\	
		22.4653	5	\	
		22.6512	7	\	
		22.7872	9	\	
		22.8656	10.5	\	
		23.1		16.1	
\$					
Plane 211.48-30	-Cart	0	2.731	\	

		1		2.7291 \
		2		2.7291 \
		3		2.7291 \
		4		2.7291 \
		5		2.7291 \
		8		2.7332 \
		13		2.7333 \
		18		2.777 \
		19.101		2.8198 \
		20.101		2.8996 \
		20.7865	3	\
		21.101		3.0651 \
		22.1		3.8753 \
		22.3545	5	\
		22.6025	7	\
		22.7586	9	\
		22.844		10.5 \
		23.1		16.1
\$				
Plane 211.48-25	-Cart	0	3.6543 \	
		1		3.6543 \
		2		3.6541 \
		3		3.6539 \
		4		3.6535 \
		5		3.6535 \
		8		3.6533 \
		13		3.6575 \
		18		3.7013 \

		19.101		3.7441	\
		20.101		3.8236	\
		21.101		3.9889	\
		22.1		3.8753	\
		22.1708	5		\
		22.5244	7		\
		22.7146	9		\
		22.819		10.5	\
		23.1		16.1	
\$					
Plane 211.48-20	-Cart	0	4.5774	\	
		1		4.5774	\
		2		4.5774	\
		3		4.5774	\
		4		4.5774	\
		5		4.5774	\
		8		4.5774	\
		13		4.5817	\
		18		4.6256	\
		19.101		4.6684	\
		20.101		4.748	\
		21.101		4.9127	\
		22.4337	5		\
		22.1		5.65	\
		22.427		7	\
		22.63		9	\
		22.7896	10.5	\	
		23.1		16.1	

\$

Plane 211.48-15	-Cart	0	5.5019 \		
		1		5.5019 \	
		2		5.5019 \	
		3		5.5015 \	
		4		5.5013 \	
		5		5.5013 \	
		8		5.5013 \	
		13		5.506 \	
		18		5.55 \	
		19.101		5.5926 \	
		20.101		5.6722 \	
		21.7716	5.8365 \		
		22.1		6.536 \	
		22.26		6.998 \	
		22.6		9 \	
		22.7515	10.5 \		
		23.1		16.1	

\$

Plane 211.48-10	-Cart	0	6.4252 \		
		1		6.4252 \	
		2		6.4252 \	
		3		6.4252 \	
		4		6.4252 \	
		5		6.4305 \	
		8		6.4305 \	
		13		6.4302 \	
		18		6.4743 \	

			19.101		6.5963	\
			20.101		6.7603	\
			21.7716	7		\
			22.1		7.4227	\
			22.4989	9		\
			22.6932	10.5	\	
			23.1		16.1	
\$						
Plane 211.48-5	-Cart	0	7.3492	\		
		1			7.3492	\
		2			7.3492	\
		3			7.3492	\
		4			7.3492	\
		5			7.3492	\
		8			7.3492	\
		13			7.3545	\
		18			7.3986	\
		19.101			7.4412	\
		20.101			7.5205	\
		21.101			7.6891	\
		22.1			8.3095	\
		22.34			9	\
		22.6216		10.5	\	
		23.1			16.1	
\$						
Plane 211.48-0	-Cart	0	8.2728	\		
		1			8.2729	\
		2			8.2729	\

3	8.2729 \
4	8.2729 \
5	8.273 \
8	8.2736 \
13	8.2787 \
18	8.3229 \
19.101	8.3655 \
20.101	8.4447 \
21.101	8.6089 \
22.1	8.3095 \
21.9568	9 \
22.5042	10.5 \
23.1	16.1

\$

end pgen

\$=====CRANE PEDESTAL

Pgen -perm 1.0 -loc 211.48-8.4 14.7 16.1 0 -90 0 -difttype none

\$

Plane 0	-circ	0	0	4	0	10	36
---------	-------	---	---	---	---	----	----

\$

Plane 0	-circ	0	0	5	0	10	36
---------	-------	---	---	---	---	----	----

\$

Plane 20.0	-circ	0	0	4	0	10	36
------------	-------	---	---	---	---	----	----

\$

Plane 20.0	-circ	0	0	4	0	10	36
------------	-------	---	---	---	---	----	----

\$

Plane 65	-circ	0	0	2.5	0	10	36
----------	-------	---	---	-----	---	----	----

\$

Plane 65 -circ 0 0 2.5 0 10 36

\$

end_pgen

\$=====BOOM

Pgen -perm 1.0 -loc 211.48-8.4 14.7 30 0 360-68 90 -dftype none

\$

Plane 0 121 \

-rect 0 3 3 0 3 0

\$

end_pgen

&dimen -remember

Input Pemodelan Kapal Pada Moses (AEGIR.cif)

&title AEGIR VESSEL

&SUBTI 211.28 X 46.2 X 16.1 meter

&devi -cecho yes -oecho NO -PRIMA DEV -auxin AEGIR.dat

inmo

```

&DIMEN -DIMEN METERS M-TONS

&instate AEGIR -condi 10.5 0.0 0.0

&weight -compute AEGIR 13.4 22.1 55.0 53.9

medit

&Describe Body AEGIR

End_Medit

&Pltmodel Vessel

        Pic Iso -anot points

        Pic Starboard

        Pic Stern

        Pic Top

End

Hstati

Cform 0.5 0.0 0.0 -Draft 1 11

Report

End

Equi -Num 1000

&Stat b_w -h

End

&Fini

```


Input Pemodelan Kapal Pada Moses (RAO.cif)

```
&title "AEGIR" RESPONSE AMPLITUDE OPERATORr

&devi -cecho yes -oecho NO -PRIMA DEV -auxin AEGIR.dat

inmo

&DIMEN -DIMEN METERS M-TONS

&instate AEGIR -condi 10.5 0.0 0.0

&weight -compute AEGIR 13.4 22.1 55.0 53.9

medit

&Describe Body AEGIR

End_Medit

&Pltmodel Vessel

    Pic Iso -anot points

    Pic Starboard

    Pic Stern

    Pic Top

End

Hstati

$

$stat - hard

stat comp -h

$stat draft -h

END

hydro

$&para -m dist g press AEGIR -speed 0.0 -heaading 0 45 90 135 180
```

\$

&subti 211.48 X 46.2 X 16.1 meter

&DIMEN -DIMEN METERS K-NTS

fp std & Body (CG AEGIR)

equ sum

Matrices -File Yes

Report

End

&Fini

BIODATA PENULIS



Intan Sukma Bella Pratiwi, lahir di Nganjuk, 25 Agustus 1994. Pendidikan formal dari SD hingga SMP ditempuh di Nganjuk, sedangkan SMA diselesaikan di Kediri. Setelah Lulus dari SMAN 2 Kediri pada tahun 2012, Penulis melanjutkan studi S1 di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Kelautan - Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur SNMPTN tulis.

Selama menempuh masa perkuliahan penulis aktif di organisasi Kerohanian baik tingkat Jurusan, Fakultas maupun Institut. Memiliki pengalaman Kerja Praktik di PT. ZEE Indonesia. Penulis memiliki minat dibidang hidrodinamika dan operasi struktur lepas pantai sehingga tugas akhir yang diambil berjudul “Analisis Kinerja *Floating Crane Vessel* saat Proses Pengangkatan *Jacket Platform Removal*”.

